

**Wissensspeicher
für die
Berufsbildung**

W

**GRUNDLAGEN
DER
ELEKTRONIK**

SEM RAD · OTTO



Semrad • Otto

GRUNDLAGEN DER ELEKTRONIK

WISSENSPEICHER FÜR DIE BERUFSBILDUNG

GRUNDLAGEN DER ELEKTRONIK

von Helmut Semrad und Werner Otto



VERLAG TECHNIK BERLIN

Vom Leiter des Staatlichen Amtes für Berufsausbildung als berufsbildende Literatur
für verbindlich erklärt

Dieser Wissenspeicher wurde im Auftrage und mit Unterstützung des Deutschen
Instituts für Berufsbildung entwickelt

Grafische Illustration: Fritz Hampel
Technische Zeichnungen: Günter Friedrich
Einband: Kurt Beckert

Redaktionsschluß 30. November 1969

ES 20 K 1 • DK 621.38

Lektor: Dipl.-Gwl. Erich Brendel

Bestellwort: Semrad Elektronik

Alle Rechte vorbehalten • Copyright 1970 by

VEB Verlag Technik, 102 Berlin

VLN 201 • Dg Nr. 370/169/70 Deutsche Demokratische Republik

Offsetrotationsdruck: (52) Nationales Druckhaus VOB National, Berlin

Bestellnummer: 5516211

4,25

VORWORT

Der vorliegende Wissenspeicher enthält Grundlagen der Elektronik, die im Grundlagenfach der sozialistischen Berufsausbildung behandelt werden. Er bildet zusammen mit den Wissensspeichern

Grundlagen der BMSR-Technik

Grundlagen der Datenverarbeitung
das Fundament der berufsbildenden Literatur.

Ein breiter Rand mit herausgestellten Leitbegriffen und freie Seiten nach jedem Hauptabschnitt gestatten, Ergänzungen einzutragen, die sich aus dem Anwenden der allgemeinen Aussagen auf die Erscheinungen im jeweiligen Betrieb ergeben.

Autoren und Verlag hoffen, mit diesem Buch die Arbeit des Berufsschülers zu erleichtern. Sie sind für kritische Hinweise dankbar.

VEB Verlag Technik

INHALTSVERZEICHNIS

0. Übersicht der verwendeten Formelzeichen, Einheiten und Kurzzeichen	9
1. Einführung in das Gebiet der Elektronik	12
1.1. Begriff der Elektronik	12
1.2. Aufgaben der Elektronik in der Volkswirtschaft	12
2. Grundschaltelemente der Elektronik	15
2.1. Ohmsche Widerstände	15
2.1.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten	15
2.1.2. Einteilung, Grundaussführungen, Werkstoffe	17
2.1.3. Betriebsverhalten und Anwendung	20
2.1.4. Kennzeichnung der Widerstände	22
2.1.4.1. Festwiderstände	22
2.1.4.2. Veränderbare Widerstände	24
2.1.5. Ergänzungen	25
2.2. Kondensatoren	27
2.2.1. Aufbau und Wirkungsweise	27
2.2.2. Einteilung der Kondensatoren	28
2.2.3. Betriebsverhalten und Anwendung	34
2.2.4. Kennzeichnung der Kondensatoren	37
2.2.5. Ergänzungen	39
2.3. Spulen	41
2.3.1. Aufbau und Wirkungsweise	41
2.3.2. Einteilung der Spulen	42
2.3.3. HF-Spulen	43
2.3.4. NF-Spulen	45
2.3.5. Kraftmagnete	47
2.3.6. Kennzeichnung der Spulen	48
2.3.7. Ergänzungen	49
2.4. Halbleiterwiderstände	51
2.4.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten	51
2.4.2. Bauformen von Halbleiterwiderständen	53
2.4.3. Betriebsverhalten und Anwendung	53
2.4.4. Kennzeichnung der Halbleiterwiderstände	54
2.4.5. Ergänzungen	55
3. Kontaktbauelemente	57
3.1. Schalter	57
3.2. Steckverbindungen	58
3.3. Relais	59
3.3.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten	59
3.3.2. Bauformen, Wirkungsweise, Hauptkennwerte, Anwendung und Betriebsverhalten	61
3.4. Ergänzungen	65

4. Gasentladungsröhren	67
4.1. Allgemeine Grundlagen	67
4.1.1. Physikalische Grundlagen der Gasentladung	67
4.1.2. Verwendungszweck, Aufbau und Wirkungsweise von Gasentladungsröhren	70
4.2. Arten der Gasentladungsröhren	73
4.2.1. Einteilung der Gasentladungsröhren	73
4.2.2. Bauformen, Wirkungsweise, Anwendung und Betriebsverhalten	74
4.2.3. Steuerungsarten der Thyatronen	79
4.3. Zusammenwirken verschiedener Gasentladungsröhren in einer Funktionseinheit	80
4.4. Kennzeichnung der Gasentladungsröhren	80
4.5. Ergänzungen	82
5. Halbleiterbauelemente	84
5.1. Allgemeine Grundlagen	84
5.1.1. Physikalische Grundlagen	84
5.1.2. Stromleitung in Halbleitern	85
5.1.3. Grenz- oder Sperrschicht	87
5.1.4. Einteilung der Halbleiterbauelemente	87
5.1.5. Kennzeichnung der Halbleiterbauelemente	89
5.1.6. Hinweise für Einbau und Verwendung	90
5.2. Halbleitergleichrichter	91
5.2.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten	91
5.2.2. Bauformen und Verwendungszweck von Gleichrichterdiolen	94
5.3. Halbleiterdioden	96
5.3.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten	96
5.3.2. Bauformen, Wirkungsweise, Anwendung und Betriebsverhalten	97
5.4. Transistoren	99
5.4.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten	99
5.4.2. Grundschaltungsarten und Berechnungsgrundlagen	102
5.4.3. Einsatzgebiete von Transistoren	106
5.5. Ergänzungen	107
6. Zusammenwirken elektronischer Bauelemente in Funktionseinheiten	109
6.1. Gleichspannungsregler	109
6.2. Elektronische Lichtschranke	110
6.3. Periodischer Blinkerschalter	110
6.4. Gegentakt-NF-Verstärker	111
6.5. Ergänzungen	113
7. Entwicklungstendenzen der Elektronik	115
8. Ergänzungen	119
Sachwörterverzeichnis	120

0. ÜBERSICHT DER VERWENDETEN FORMELZEICHEN, EINHEITEN UND KURZZEICHEN

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit	Kurzzeichen
b	Energiekonstante	Kelvin	K
C	Kapazität	Farad	F
C_L	Eigenkapazität einer Spule	Farad	F
C_r	Sperrschichtkapazität	Farad	F
f	Frequenz	Hertz	Hz
f_0	Resonanzfrequenz	Hertz	Hz
$f_T, f_{h\ 21}$	Grenzfrequenz	Hertz	Hz
G	Spulengüte	—	—
H, \oint	magnetische Feldstärke	Ampere je Meter	$\frac{A}{m}$
$h_{11\ e}, h_{12\ e}$ } $h_{21\ e}, h_{22\ e}$ }	Vierpolparameter von Transistoren in Emitterschaltung	siehe Seite 104 f	
I	elektrische Stromstärke	Ampere	A
I	Spitzenwert des Stromes	Ampere	A
i	Augenblickswert des Stromes	Ampere	A
i_C	Augenblickswert des Kondensatorstromes	Ampere	A
$I_1 \sim, I_C \sim$	Wechselströme	Ampere	A
I_B	Basisstrom	Ampere	A
I_C	Kollektorstrom	Ampere	A
I_{CBO}, I_{CEO}	Restströme	Ampere	A
I_D	Dunkelstrom	Ampere	A
I_E	Emitterstrom	Ampere	A
I_F	Durchlaßstrom	Ampere	A
I_{FM}	Dauergrenzstrom (maximaler Durchlaßstrom)	Ampere	A
I_{FN}	Nenndurchlaßstrom	Ampere	A
I_{FP}	Spitzendurchlaßstrom (periodisch)	Ampere	A
I_H	Haltestrom (bei Relais)	Ampere	A
	Hellstrom (bei Fotodioden)		
I_h	Heizstrom	Ampere	A
I_{KS}	Katodenspitzenstrom	Ampere	A
I_{max}	Maximalstrom	Ampere	A
I_N	Nennstrom	Ampere	A

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit	Kurzzeichen
I_q	Querstrom	Ampere	A
I_R	Sperrstrom	Ampere	A
I_s	Schaltvermögen	Ampere	A
I_{st}	Steuerstrom	Ampere	A
I_z	Zenerstrom	Ampere	A
L	Induktivität	Henry	H
l	Länge	Meter	m
p	Gasdruck	Torricelli	Torr
P	elektrische Leistung	Watt	W
P_{nenn}	Nennleistung	Watt	W
P_v	Verlustleistung	Watt	W
$P_{v\ max}$	maximale Verlustleistung	Watt	W
Q	Elektrizitätsmenge	Coulomb	C
q	Augenblickswert der elektrischen Ladung	Coulomb	C
R	elektrischer Widerstand	Ohm	Ω
R_{20}	Kaltwiderstand (bei 20 °C Umgebungstemperatur)	Ohm	Ω
R_D	Durchgangswiderstand	Ohm	Ω
r_F	differentieller Durchlaßwiderstand	Ohm	Ω
R_g	Widerstand im Eingangskreis	Ohm	Ω
R_{is}	Isolationswiderstand	Ohm	Ω
R_{krit}	kritischer Widerstandswert	Ohm	Ω
R_L	Lastwiderstand	Ohm	Ω
R_v	Vorwiderstand	Ohm	Ω
s	Luft- und Kriechstrecke	Meter	m
A	Querschnittsfläche	Quadratmeter	m ²
TK	Temperaturkoeffizient	Widerstandsänderung je Kelvin	$\frac{\Delta R}{K}$
t_v	Verzögerungszeit	Sekunde	s
U	elektrische Spannung	Volt	V
\hat{U}	Spitzenwert der Spannung	Volt	V
u	Augenblickswert der Spannung	Volt	V
$U_1 \sim, U \sim$	Wechselspannungen	Volt	V
U_{AK}, U_{EB} usw.	Spannungen zwischen den Punkten AK, EB usw.	Volt	V
U_a	Ausgangs- oder Anodenspannung	Volt	V
U_{as}	Spitzenwert der Anodenspannung	Volt	V
U_B	Brennspannung	Volt	V
$U_{B\ max}, U_{B\ min}$	Maximal- bzw. Minimalwert der Brennspannung	Volt	V
U_C	Kondensatorspannung	Volt	V
U_d	Betriebsdauerspannung	Volt	V

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit	Kurzzeichen
U_e	Eingangsspannung	Volt	V
$U_e =$	Eingangs-Gleichspannung	Volt	V
U_F	Durchlaßspannung	Volt	V
U_g	Gitterspannung	Volt	V
U_{grenz}	Grenzspannung	Volt	V
U_h	Heizspannung	Volt	V
U_{HF}	Hochfrequenzspannung	Volt	V
U_L	Löschspannung	Volt	V
U_{max}	Maximalspannung	Volt	V
U_N	Nennspannung	Volt	V
U_p	Prüfspannung	Volt	V
U_R	Sperrspannung	Volt	V
\bar{U}_{RX}	Spitzenennspannung	Volt	V
\bar{U}_{RP}	Spitzenperrspannung, periodisch	Volt	V
U_{Rv}	Spannung am Widerstand R_v	Volt	V
U_s	Schaltspannung	Volt	V
U_{Sp}	Spitzenspannung	Volt	V
U_{st}	Starterspannung	Volt	V
U_{stz}	Zündspannung der Starter- elektrode	Volt	V
U_z	Zündspannung	Volt	V
U_Z	Zenerspannung	Volt	V
V	Volumen	Kubikmeter	m ³
V_i	Stromverstärkung	—	—
V_p	Leistungsverstärkung	—	—
V_u	Spannungsverstärkung	—	—
X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ohm	Ω
X_L	induktiver Blindwiderstand	Ohm	Ω
x_0, x_1	binäre Eingangssignale bei Schaltssystemen	—	—
y	binäres Ausgangssignal bei Schaltssystemen	—	—
Z	Wellenwiderstand	Ohm	Ω
Z_e	Eingangs-Wellenwiderstand	Ohm	Ω
Z_a	Ausgangs-Wellenwiderstand	Ohm	Ω
β	Koeffizient der Nichtlinearität	—	—
δ	Temperatur	Kelvin	K
δ_j	Betriebstemperaturbereich	Kelvin	K
Φ	Sperrschichttemperatur		
Φ	Magnetischer Fluß	Weber	Wb
ϱ	Spezifischer Widerstand	Ohmmeter	$\Omega \cdot m$
τ, τ_1	Zeitkonstanten	Sekunde	s
ω	Kreisfrequenz	Radian je Sekunde	$\frac{\text{rad}}{s}$
ω_0	Resonanzfrequenz	Radian je Sekunde	$\frac{\text{rad}}{s}$

1. EINFÜHRUNG IN DAS GEBIET DER ELEKTRONIK

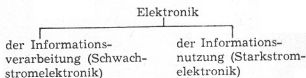
1.1. Begriff der Elektronik

Ursprünglich wurde die Elektrotechnik unterteilt in Schwachstrom- und Starkstromtechnik. Ein Teilgebiet der Schwachstromtechnik war die Informationsübertragungs- und -verarbeitungstechnik mit Hilfe von Elektronenröhren, genannt Elektronik. Infolge des Einsatzes moderner Halbleiterbauelemente verliert jedoch die Elektronenröhre immer mehr an Bedeutung. Für elektronische Schaltungen ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten zur Steuerung des Energieflusses auch in der Starkstromtechnik, so daß die Elektronik die Grenzen zwischen Stark- und Schwachstromtechnik immer mehr verwischt. Man versteht heute unter Elektronik:

Anwendung freier Elektronen im Vakuum oder im Halbleiter für Steuerung und Regelung im Stark- und im Schwachstromgebiet.

Teilgebiete

und unterscheidet zwei Teilgebiete

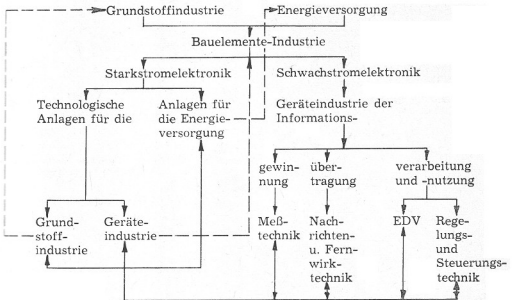


1.2. Aufgaben der Elektronik in der Volkswirtschaft

Das komplexe Zusammenwirken der BMSR-Technik und der EDV ermöglicht die Vollautomatisierung ganzer Produktionsprozesse mit optimalem Wirkungsgrad und entlastet den Menschen von monotoner körperlicher und geistiger Arbeit. Dadurch beeinflusst die Elektronik das Entwicklungstempo im gesamten gesellschaftlichen, ökonomischen und wissenschaftlich-technischen Bereich.

Die Elektronik bildet eine Grundlage der Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik (BMSR-Technik) und die Grundlage der Elektronischen Datenverarbeitung (EDV).

Verflechtungen der Industriezweige



Einsatzgebiete und Erzeugnisgruppen der Leistungselektronik

Erzeugnissektor	Technologische Anlagen		Energieanlagen
Einsatzgebiet	für die Grundstoff-industrie, z. B. für Bergwerke, Stahlwerke, Walzwerke, Chemiebetriebe, Erdölkombinate; für die Lebens- und Genußmittel-industrie	für die Geräteindustrie, Elektroindustrie, Textilindustrie, den Werkzeugmaschinenbau, Fahrzeugbau, Schiffbau	für die Elektrizitätserzeugung und -verteilung, die Gasversorgung
Erzeugnisgruppen	Anlagen zur Antriebssteuerung und -regelung mit Hilfe gesteuerter und ungesteuerter Gleich-, Wechsel- und Umrichter. Anlagen zur numerischen Steuerung mit Hilfe von		

Logikschaltungen, z. B. bei Werkzeugmaschinen, Textilmaschinen.

Anlagen zur Prozeßwertsteuerung und -regelung, z. B. für Druck-, Temperatur- und Mischungsverhältnisse, mit Hilfe von analogen und digitalen Bausteinen der BMSR-Technik.

Anlagen zur Prozeßoptimierung durch Verknüpfung der BMSR-Technik mit der EDV, z. B. zur Ermittlung der günstigsten Sollwerte für Druck-, Temperatur- und Mischungsverhältnisse in der chemischen Industrie.

Erzeugnisgebiete und Erzeugnisgruppen der elektronischen Geräteindustrie

Erzeugnissektor

Industrielle Elektronik Unterhaltungselektronik

Erzeugnisgebiet

Nachrichtentechnik, Meßtechnik, Regelungstechnik, Datenverarbeitung, Studio-technik

Sendetechnik, Antriebsregelung, Fahrzeugelektronik, Starkstromtechnik, Energieversorgung

Rundfunktechnik, Fernsehtechnik, Phontechnik

Erzeugnisgruppen

Spezialverstärker in bezug auf Bandbreite, Genauigkeit, Konstanz, Linearität, Empfindlichkeit; Generatoren für sinus- und sägezahnförmige Schwingungen

Frequenzwandler als Gleichrichter, Wechselrichter, Umrichter, elektronische Schalter (z. B. Thyristoren)

Spezialverstärker als HF-, NF- oder Stereo-Verstärker, Oszillatoren, Modulatoren und Demodulatoren

2. GRUNDSCHALTELEMENTE DER ELEKTRONIK

2.1. Ohmsche Widerstände

2.1.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten

Eigenschaft und
Verwendungszweck

Bauelemente mit Widerstand gegen Elektronenfluß zur Erzeugung eines (stromabhängigen) Spannungsabfalls, Begrenzung des Stromes oder Aufnahme elektrischer Leistungen. Zugeführte elektrische Leistung wird in Wärme umgesetzt.

Symbol



R Resistor (lat. Widerstand)
Anwendung in Gleichungen und Schaltbildern.

Bild 2.1. Schaltzeichen für Widerstände

Aufbau

Trägerkörper aus Isoliermaterial mit leitender Schicht oder Metalldrahtwicklung und Anschlüssen für den Einbau in elektrischen Schaltungen.

Spezifischer
Widerstand ϱ

Gibt den materialabhängigen elektrischen Widerstand eines Würfels von 1 cm Kantenlänge an.

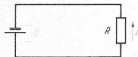
$$\varrho = \frac{R \cdot A}{l}$$

R Widerstand
A Querschnittsfläche
l Länge

Ohmsches Gesetz

Durch den Widerstand R fließender Strom I ist der angelegten Spannung U proportional.

$$I = \frac{U}{R}$$



I Stromstärke
U Spannung
R Widerstand

Bild 2.2. Strom I durch Anlegen einer Spannung U

Am Widerstand R abfallende Spannung U ist durchfließendem Strom I proportional

$$U = I \cdot R$$



U Spannung
 I Stromstärke
 R Widerstand

Bild 2.3. Spannungsabfall U beim Fließen eines Stromes I

Technische Daten von Widerständen

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Widerstandswert	R	Ω
Zulässige Abweichung des Widerstandswertes vom Nennwert	$\frac{\Delta R}{R}$	% (siehe Beispiel)
Nennverlustleistung	P_{nenn}	$\frac{W}{K}$
Temperaturkoeffizient	TK	$\frac{\Delta R}{K}$
Widerstandswerkstoff (z. B. Draht, Kohleschicht)	—	—
Widerstandsart (z. B. fest oder veränderbar)	—	—
Güteklasse	—	—

Beispiel für Angabe von $\frac{\Delta R}{R}$

Nennwert $50 \text{ k}\Omega$ mit $\frac{\Delta R}{R} = \pm 10 \%$ bedeutet, daß der tatsächliche Widerstandswert zwischen 45 und $55 \text{ k}\Omega$ liegen darf.

Grenzwerte

$$P_{\text{nenn}} = \frac{U_{\text{grenz}}^2}{R_{\text{krit}}}$$

Bezeichnung	Formelzeichen	Bedeutung
Nennverlustleistung	P_{nenn}	Höchstzulässige Leistung, die ein Widerstand ohne Beschädigung dauernd in Wärme umsetzen kann
Betriebsdauer-spannung	U_d	Zulässige Spannung, die ständig am Widerstand anliegen kann, wenn die Nennverlustleistung nicht überschritten wird

$$U_{\text{grenz}} = \sqrt{P_{\text{nenn}} \cdot R_{\text{krit}}}$$

Grenzspannung U_{grenz}

Höchstzulässige Gleichspannung. Der Scheitelwert einer Wechsel- oder Impulsspannung darf diesen Wert um nicht mehr als $\sqrt{2}$ überschreiten

$$R_{\text{krit}} = \frac{U_{\text{grenz}}^2}{P_{\text{nenn}}}$$

Kritischer Widerstandswert R_{krit}

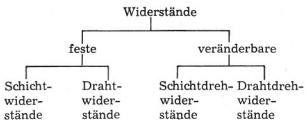
Wert bei maximaler Belastung mit Nennverlustleistung bei der Grenzspannung

Umgebungstemperatur

Oberflächen-temperatur nach mindestens einstündiger Lagerung in der jeweiligen Umgebung. Höchstzulässige Verlustleistung bei höheren Umgebungstemperaturen wird vom Hersteller angegeben

2.1.2. Einteilung, Grundauführungen, Werkstoffe

Einteilung



Grundauführungen

	Schichtwiderstände	Drahtwiderstände	Massewiderstände
Widerstandswerkstoffe	Glanzkohle Borkohle Kolloidkohle Metallschichten gemischte Bauweise	ungeschützt lackiert zementiert glasiert	Metallpulver Sinter-Kohlenstoff Volumenwiderstand auf Halbleiterbasis



Bild 2.4. Standardisierte Symbole für Widerstände nach TGL 16 008



Bild 2.5. Aufbau und Herstellung von Festwiderständen

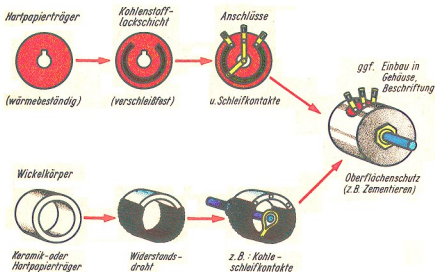


Bild 2.6. Aufbau und Herstellung veränderbarer Widerstände

Begriffe bei veränderbaren Widerständen

Begriff

Potentiometer

Nenngröße

Kurve des
Widerstands-
verlaufs

Bedeutung

Veränderbare Schicht-(Draht-)
Drehwiderstände

Ausdruck für Beziehung
zwischen Nennlast und Bau-
breite (Herstellerangabe)

Grafische Darstellung der
Abhängigkeit des Widerstands-
wertes vom Drehwinkel

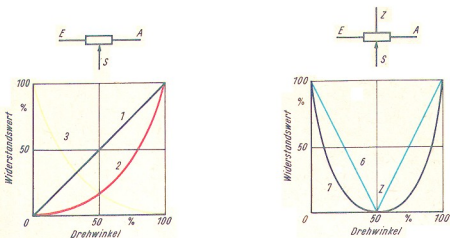


Bild 2.7. Widerstandskurven bei Schichtdrehwiderständen

Kurve 1 linear
 Kurve 2 steigend exponentiell
 Kurve 3 fallend exponentiell
 Kurve 6 zweimal linear
 Kurve 7 zweimal exponentiell mit Anzapfung Z

Beispiele für Widerstandsverläufe	Kennfarben-Nr.	Kennfarbe	Widerstandsverlauf	Anwendung
	1	Braun	linear	Spannungsteiler mit proportionaler Änderung in Abhängigkeit vom Drehwinkel
	2	Rot	steigend exponentiell	Lautstärke- und Klangfarbenregler mit gehör richtiger bzw. dämpfungsproportionaler Einstellung
	3	Orange	fallend exponentiell	
	6	Blau	zweimal linear mit Anzapfung	Überblendungsschaltungen mit konstanter Spannungsänderung
	7	Violett	zweimal exponentiell mit Anzapfung	Überblendungsschaltungen mit konstanter Dämpfungsänderung

Mit Hilfe der Anzapfung ist es möglich, durch äußere Beschaltung den Widerstandsverlauf zu beeinflussen, z. B. Gleichlauf oder Frequenzabhängigkeit zu erzielen.

2.1.3. Betriebsverhalten und Anwendung

Arten von Widerständen	Zusammensetzung und Besonderheiten	
Gemisch-widerstände	Gemisch aus Ruß oder Graphit mit Kunstharzlack. Ausführung genügt den meisten Anforderungen	
Glanzkohle-widerstände	Pyrolytisch abgeschiedene Kohlenstoffmodifikation. Lange Lebensdauer, hohe zeitliche Konstanz, geringe Spannungs- und Frequenzabhängigkeit, feuchtigkeitsbeständig, kurzzeitig hoch überlastbar, rauscharm	
Borkohle-widerstände	Glanzkohleschicht mit Zusatz einer Borverbindung. Verbesserung des Temperaturverhaltens	
Metallschicht-widerstände	Metallschicht im Hochvakuum auf Sinterwerkstoff aufgedampft. Verbesserte Gleichstrombeständigkeit durch Ausschaltung schädlicher elektrolytischer Vorgänge	
UKW-Schicht-widerstände	Ungewendelte Spezialwiderstände, weitgehend frequenzunabhängig, da induktions- und kapazitätsarm	
Draht-widerstände	Blanker, oxydierter, emaillierter oder umspinnener Konstantan- oder Chromnickeldraht	
Ungeschützt	Keine mechanische Beanspruchung der Wicklung	} nur für trockenes Klima
Lackiert	Mechanische Beanspruchung der Oberfläche möglich	
Zementiert	Hohe Belastbarkeit bei kleinen Abmessungen, mechanische Beanspruchung der Oberfläche möglich	
Glasiert	Für trockenes und feuchtes Klima und besonders rauen Betrieb (z. B. Staub, Temperaturschwankungen). Unempfindlich gegen zeitweilige Überlastungen	

Bauformen und Besonderheiten der Schichtwiderstände



Bild 2.8



Bild 2.9



Bild 2.10



Bild 2.11



Bild 2.12

Bau- form- Nr.	Bau- form- reihe	Kenn- farbe	Um- hüllung	Schicht	Besonderheiten
1	11	Braun	Lack	Metall	Kleiner TK, hohe zeitliche Konstanz, enge Auslieferungstoleranz, Einsatz bei höheren Temperaturen; 0,05 ... 2 W
	15	Grün	Epoxydharz	Metall	Einsatzmöglichkeit unter ungünstigen klimatischen Bedingungen; 0,125 und 0,25 W
2	21	Braun	Silikon- zement	Kohle	Geräte mit gedrängtem Aufbau, jedoch ohne hohe Anforderungen, nur für 5 W
	25	Grün	Lack	Kohle	Anwendung ohne hohe Anforderungen; 0,125 ... 2 W
	250	Grün	Lack	Kohle	Enge Auslieferungstoleranz; 0,125 ... 2 W Kleine Abmessungen bei hoher Flächenlast; 0,33 ... 3 W
3	35	Grün	Lack	Kohle	Für Frequenzen bis 300 MHz, Enden metallisiert; 0,125 ... 250 W
	310	—	Lack	Kohle	Für Frequenzen bis 3000 MHz, Enden metallisiert; bis 100 Ω
4	410 N	—	Glas	Kolloid	Höchstohmwiderstand; bis 1 kV Nennspannung
5	510 N	—	Isolier- stoff	Kolloid	Höchstohmwiderstand, spannungsfest; bis 30 kV Nennspannung



Bild 2.13



Bild 2.14



Bild 2.15



Bild 2.16



Bild 2.17

Bau- form- Nr.	Bau- reihe	Kenn- farbe	Um- hüllung	Schicht	Besonderheiten
6	65 N	Grün	Lack	Kolloid	Höchstohmwiderstand; bis 1,25 kV Nennspannung
7	75 N	Grün	Lack	Kolloid	Höchstohmwiderstand; nur für 2 kV Nennspannung
71	Braun	Silikon- zement	Kohle		Für Geräte mit gedrängtem Aufbau ohne besondere Anforderungen; nur für 7,5 W
8	81	Braun	Silikon- zement	Kohle	Höhere Flächenlast, jedoch sonst ohne hohe Anforderungen; 10 ... 400 W
9	91	Braun	Lack	Kohle	Relativ hohe Belastbarkeit, für gedruckte Schaltungen; eingegatter TK; 3 W
10	105	Grün	Lack	Kohle	Anwendung ohne besondere Anforderungen; 2 W

2.1.4. Kennzeichnung der Widerstände

2.1.4.1. Festwiderstände

Bezeichnungsbeispiel

Schichtwiderstand	100 kΩ	10 %	25.311	TGL	8728
Widerstandswert					
Auslieferungstoleranz					
Bauform					
Baureihe					
Kennfarbe					
Durchmesser					
Länge					
Standard-Nr.					

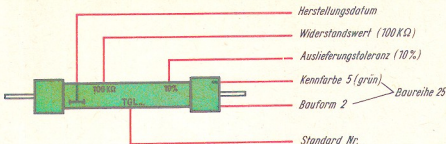


Bild 2.18. Kennzeichnung der Festwiderstände

Internationaler Farbkode	Farbe	1. Ring	2. Ring	3. Ring	4. Ring
	Silber	—	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
	Gold	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
	Schwarz	—	0	10^0	—
	Braun	1	1	10^1	$\pm 1\%$
	Rot	2	2	10^2	$\pm 2\%$
	Orange	3	3	10^3	—
	Gelb	4	4	10^4	—
	Grün	5	5	10^5	—
	Blau	6	6	10^6	—
	Violett	7	7	10^7	—
	Grau	8	8	10^8	—
	Weiß	9	9	10^9	—

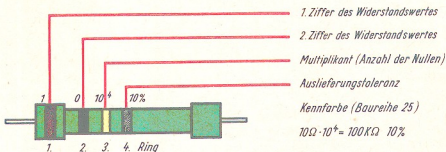


Bild 2.19. Kennzeichnung von Festwiderständen kleiner Abmessungen durch Farbkode, z. B. $10\Omega \cdot 10^4 = 100 K\Omega$ 10% Auslieferungstoleranz

Widerstände mit kleiner Oberfläche, die eine Kennzeichnung mit Ziffern und Buchstaben nicht zulassen, werden mit Farbringen gekennzeichnet.

Die für die Ziffernwerte 0 bis 9 festgelegten Farben kann man sich leicht anhand des Farbdreiecks der Grundfarben Rot, Gelb und Blau und der dazwischenliegenden Mischfarben merken, wenn dieses nach Bild 2.20 von außen (Dunkelheit, schwarz) im Uhrzeigersinn nach innen (Helligkeit, weiß) gelesen wird.

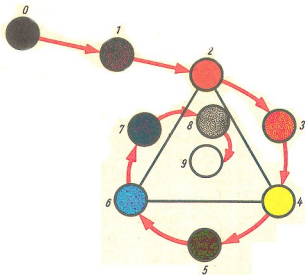


Bild 2.20. Ziffernfestlegung des internationalen Farbkodes

2.1.4.2. Veränderbare Widerstände

Bezeichnungsbeispiele

Drahtdrehwiderstand 100 Ω C 1 TGL 6857
 Benennung —————
 Widerstandswert —————
 Bauform —————
 Ausführungsart —————
 Standard-Nr. —————

Schichtdrehwiderstand 100 k Ω 1 betriebs- 554
 Benennung ————— abhängig
 Widerstandswert —————
 Kurve des Widerstands-
 verlaufs —————
 Herstellerzeichen —————
 Prüfkategorie —————

Bei Platzmangel kann die Kennzeichnung durch Farbpunkte entsprechend Bild 2.20, wie im Bild 2.21 dargestellt, erfolgen. Für die Prüfklassen gilt dabei:

Prüfkategorie	554	665	766
Farbe	Gold	Silber	ohne Kennzeichnung

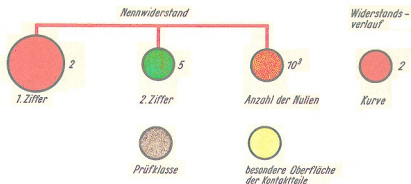


Bild 2.21. Kennzeichnung von Drehwiderständen kleiner Abmessung durch Farbpunkte. Erster Punkt der Anordnung mindestens doppelt so groß wie alle anderen Punkte, z. B. $25 \Omega \cdot 10^3 = 25 \text{ k}\Omega$ Kurve 2 (steigend logarithmisch) Prüfklasse 685 Goldkontakte

2.1.5. Ergänzungen

Leitbegriff	Bemerkungen			
	1	2	3	4
	Bian	grau	rot	Silber
	6	8	10^2	$\pm 10\%$

Leitbegriff

Bemerkungen

2.2. Kondensatoren

2.2.1. Aufbau und Wirkungsweise

Verwendungszweck



Bild 2.22. Schaltzeichen für Kondensator

Bauelemente der Elektronik als Speicher für elektrische Ladungsträger bei Gleichstrom oder als Blindwiderstand bei Wechselstrom.

Symbol

C Kapazität (lat. Speichervermögen)
Anwendung in Gleichungen und Schaltbildern.

Aufbau

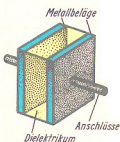


Bild 2.23. Prinzipieller Aufbau eines Kondensators

Zwei durch Dielektrikum voneinander elektrisch isolierte, einander gegenüberliegende Metallplatten, -schichten oder -folien mit Anschlüssen (Lötflächen oder Drähten) für den Einbau in elektrische Schaltungen.

Eigenschaften bei Gleichstrom

Bei Anlegen einer Gleichspannung U werden auf den Metallbelägen elektrische Ladungsträger q gespeichert.

$$q = C \cdot u$$

q Augenblickswert der elektrischen Ladung
 C Kapazität
 u Augenblickswert der Spannung

Bis zum Erreichen der vollen Ladungsmenge entsprechend der angelegten Spannung fließt kurzzeitig ein Ladestrom.

Kapazität

C wird bestimmt durch Fläche der Beläge, ihren gegenseitigen Abstand und die Art des Dielektrikums. Ist Maß für die Speicherefähigkeit elektrischer Ladungsträger je Volt angelegter Spannung.



Bild 2.24. Kondensator im Gleichstromkreis

Eigenschaften bei Wechselstrom

Bei Anlegen einer Wechselfspannung wechseln Ladungsträger ständig. Es fließt Wechselstrom.

$$\begin{aligned}
 I_C &\sim U \sim \omega \cdot C \\
 &= U \sim 2\pi \cdot f \cdot C \\
 &= \frac{U}{X_C} \\
 X_C &= \frac{1}{\omega C} \\
 &= \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}
 \end{aligned}$$

Wechselstromwiderstand X_C ist reiner Blindwiderstand, d. h., die elektrische Wirkleistung ist Null. Bei verlustbehafteten Kondensatoren ergeben sich zusätzlich Wirkanteile, d. h., reale Kondensatoren sind Scheinwiderstände.



Bild 2.25. Kondensator im Wechselstromkreis

Wichtigste Kenndaten von Kondensatoren

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Nennwert der Kapazität	C	F
Zulässige Abweichung vom Nennwert	$\frac{\Delta C}{C}$	%
Zulässige Nenngleich- oder Nennwechselspannung bei 50 Hz	U_{nenn}	V
Prüf- oder Spitzenspannung	U_p, U_{sp}	V
Isolationswiderstand	R_{Is}	Ω
Verlustfaktor	$\tan \delta$	—
Betriebstemperaturbereich	$\vartheta_{\min}, \vartheta_{\max}$	K
Temperaturbeiwert	TK	$\frac{\Delta C}{K}$
Klimaprüfklasse	—	—
Art des Kondensators (z. B. fest oder veränderbar)	—	—
Art des Dielektrikums (z. B. Papier oder Duroplast)	—	—

2.2.2. Einteilung der Kondensatoren

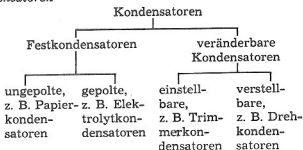


Bild 2.26.
Standardisierte Symbole



**Übersicht über
ungepolte
Festkondensatoren**

Art der Konden- satoren	Dielek- trikum	Beläge	Ausfüh- rungen
Papier- kondensator	Natron-Zel- lulose- Papier- bänder	Metall- folien in Band- form	Gehäuselos, in Epoxydharz (Duroplast), in Metallbecher bzw. Keramik- rohr
MP- (Metall- Papier) Konden- sator		Aufge- dampfte Metalli- sierung	Aluminium- gehäuse, Metallbecher, Aluminium- rohr mit Axialdrähten
Kunststoff- folie- kondensator	Kunststoff- folie, z. B. Polystyrol- foliebänder	Metall- folien in Band- form	Gehäuselos, Metallbecher, Keramik- oder Aluminium- rohr
L-(Lack) Konden- sator		Aufge- dampfte Metalli- sierungen	In Aluminium- rohr vergossen oder Stahlrohr verlötet, nur für 63 V
Keramik- konden- sator	Keramik	Einge- brannte Metall- schicht	Rohre, auch Durchführun- gen, Scheiben oder Platten

Papierkondensatoren

Aus endlosen Papier- und Foliebändern auf Spezial-Wickelmaschinen hergestellt. Kondensatorwickel getrocknet, im Vakuum imprägniert: mit Vaseline für den Einbau in Becher oder Keramikrohr, mit Epoxydharz für Duroplastkondensatoren, mit Mineralöl für Hochspannungskondensatoren.

Leitende Beläge

Dünne Metallfolien, z. B. Aluminiumbänder etwa 0,1 mm dick.

Dielektrikum

Natron-Zellulose-Papierbänder.

Anschlüsse

Entwickeln seitlich herausragender Kupferfoliestreifen. Aufschweißen flachgeschlagener Drähte auf die Folie (kontaktsichere Ausführung k). Seitliche Versetzung der Metallfolien bis zum Papierrand und ganzflächige Verlötung (induktionsarme und dämpfungsarme Ausführung d).

Kunststoffolie-kondensatoren

Aufbau wie bei Papierkondensatoren.

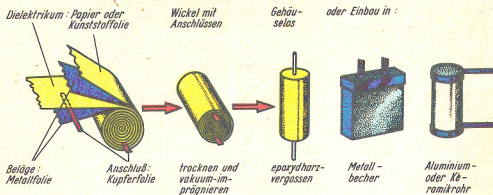


Bild 2.27. Aufbau und Herstellung von Papier- und Kunststoffoliekondensatoren

Dielektrikum

Polystyrolfolie

MP-Kondensatoren (Metall-Papier)

Herstellung der Wickel wie bei Papierkondensatoren. Wegen der etwa ein Hundertstel so dicken Zinkbeläge bei gleicher Kapazität kleinere Abmessungen.

Leitende Beläge

Auf das Papier aufgedampfter Zinkbelag, etwa 10^{-4} mm dick.

Dielektrikum

Natron-Zellulose-Papierbänder

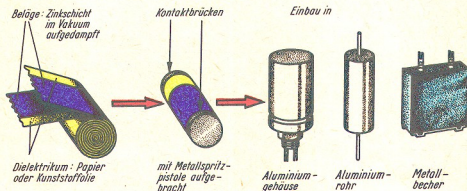


Bild 2.28. Aufbau und Herstellung von MP- und L-Kondensatoren

Anschlüsse

Aufspritzen von Kontaktbrücken auf die Stirnseiten der MP-Wickel. Dadurch MP-Kondensatoren induktivitäts- und dämpfungsarm.

Lack-Kondensatoren

Aufbau wie bei MP-Kondensatoren, durch höhere Dielektrizitätskonstante noch kleineres Volumen.

Kunststoffolie, 2...4 µm dick

Dielektrikum

Keramische Klein-kondensatoren

Leitende Beläge

Eingebrannte Metallschichten, z. B. Silber

Dielektrikum

Keramikrohr, -scheiben oder -platten

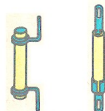
Anschlüsse

Angelötete Drähte oder Lötflächen

Rohr-Kondensatoren

Durchführungs-Kondensatoren

Scheiben-Kondensatoren



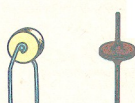
mit Draht-anschlüssen

mit Löt-fähnen



einlöt-bar

einschraub-bar



lackiert

Kunststoff-umhüllung

Bild 2.29. Aufbau keramischer Kleinkondensatoren

Gepolte Festkondensatoren

Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren

Leitende Beläge

In Abweichung zu anderen Festkondensatoren nur eine Aluminiumfolie als positive Elektrode (+). Gegenbelag ist eine halbleitende Substanz als dickflüssiger oder fester Elektrolyt, der die leitende Verbindung zum Gehäuse als negative Elektrode (—) herstellt.

Dielektrikum

Oxidschicht wird elektrochemisch auf Aluminiumfolie aufgebracht.

Elektrolytkondensatoren haben infolge dünner Oxidschicht und deren günstiger Dielektrizitätskonstante große Volumenkapazität $\frac{C}{V}$.

Weitere Volumenverkleinerung ergibt sich durch Vergrößerung der wirksamen Oberfläche. Oberfläche der Aluminiumfolie durch elektrochemische Ätzung aufgerauht.

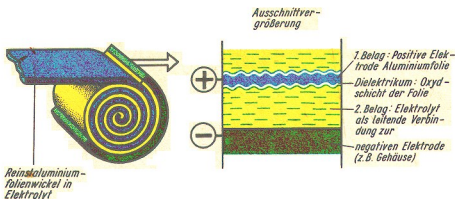


Bild 2.30. Aufbau und Wirkungsweise von Elektrolytkondensatoren

Tantal-Elektrolyt-Kondensatoren

Aufbau entspricht Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren mit festem Elektrolyt. Er ergibt minimale Temperaturabhängigkeit.

Betriebs- und Prüfspannungen von Elektrolytkondensatoren

Für Elektrolytkondensatoren kann keine Prüfspannung, die für eine mehrfache Spannungssicherheit ausgelegt ist, wie bei anderen Kondensatoren festgelegt werden. Anstelle dessen wird eine Spitzenspannung angegeben, die beim 1,1- bis 1,3fachen Wert der Nennspannung liegt. Diese Spitzenspannung darf niemals auch nur kurzzeitig überschritten werden.

Nennspannung

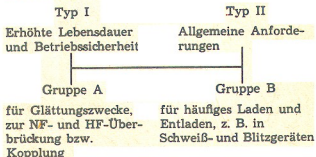
Niedervolt-Elektrolyt-Kondensatoren 1,5 ... 70 V Nennspannung;

Hochvolt-Elektrolyt-Kondensatoren 150 ... 450 V Nennspannung.

Kapazitätsbereich

0,5 ... 10 000 μF

Typen und Gruppen



Veränderbare Kondensatoren

Änderung der Kapazität erfolgt im allgemeinen durch Änderung der einander gegenüberstehenden Flächen der Kondensatorbeläge:

Aluminium - Elektrolyt-Kondensatoren

Tantal - Elektrolyt-Kondensator

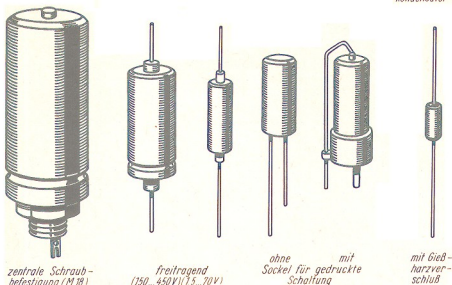


Bild 2.31. Bauformen von Elektrolytkondensatoren

Verdrehen eines beweglichen Plattenpaketes gegen-
über einem festen.
Verdrehen einer auf eine Keramikscheibe einge-
brannten sektorförmigen Metallschicht gegen eine
sektorförmige Metallschicht auf einer feststehenden
Keramikscheibe.

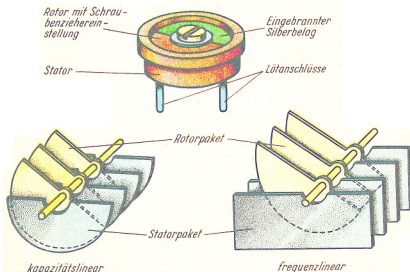


Bild 2.32. Scheibentrimmer, Drehkondensatoren

2.2.3. Betriebsverhalten und Anwendung

Festkondensatoren

Kondensatortyp

Papierkondensator

Bauform

Dicht verlötetes Stahlblechgehäuse oder Keramikrohr

Gehäuselos, Epoxydharz vergossen (Duroplastkondensatoren)

Gehäuselos, Epoxydharz vergossen (Gewaplastkondensator)

Mit Lötstiften

Eigenschaften

Verminderung der Kapazität und Ansteigen des Verlustfaktors bei Erhöhung der Frequenz und Reduzierung der Temperatur

Anwendung

Informations-, Meß- und Regelungstechnik; Fernmelde-technik und Unterhaltungselektronik, wenn keine besonderen Anforderungen gestellt; Frequenzbereich bis 300 kHz

Für hohe klimatische Anforderungen

Für gedruckte Schaltungen

Kunststofffoliekondensator

Gehäuselos mit Drahtanschlüssen, auf Polyamid-Kern

Dicht verlötetes Stahlblechgehäuse

Keramikrohr

Mit Lötstiften

Niedrige Verluste, hohe zeitliche Konstanz, negativer TK, d. h. Erhöhung der Kapazität bei sinkender Temperatur, geringe Feuchtigkeitsabhängigkeit, hoher Isolationswiderstand; Volumen größer als bei Papierkondensator

Filtertechnik, wobei negativer TK positiven TK der Spulen kompensiert; Schaltkreise hoher Frequenz und großer Zeitkonstante; überall dort, wo ein hoher Isolationswiderstand erforderlich, z. B. in der Dosimetrie

Für gedruckte Schaltungen

**MP-(Metall-Papier-)
Kondensator**

Bauform

Zylindrisches Aluminiumgehäuse mit Schraubbefestigung oder beiderseitigen axialen Anschlüssen

Dicht verlötetes prismatisches oder zylindrisches Stahlblechgehäuse

Eigenschaften

Selbstheilende Kondensatoren, d. h., bei Spannungsdurchschlag verdampft Metallbelag in Umgebung der Durchschlagstelle und isoliert Fehlstelle im Dielektrikum ohne zusätzliche Belastung der Spannungsquelle in etwa 10^{-5} s einwandfrei; große Betriebssicherheit; sonstige Eigenschaften wie Papierkondensator, jedoch kleinere Abmessungen

Anwendung

Wie Papierkondensatoren, in allen Bereichen der Elektronik, insbesondere bei erhöhten Anforderungen an Betriebssicherheit; geringe Masse und kleines Volumen

L-(Lack-)Kondensator

Vergossen in zylindrischem Aluminiumrohr

Dicht verlötet in zylindrischem Stahlbecher mit Druckglasdurchführung

Selbstheilend wie MP-Kondensatoren; sonstige Eigenschaften wie Kunststoffoliekondensatoren

Geeignet für Gleich- und Wechselspannung bei erhöhten Anforderungen an Konstanz der Kapazität; geringer Verlustfaktor bei kleinem Volumen

**Keramischer
Kleinkondensator**

Rohr- oder Scheibenform mit Draht- oder Lötflächenanschlüssen

Günstige elektrische Eigenschaften, kleiner Verlustfaktor, hoher Isolations-

Kondensator für frequenzbestimmende Schwingkreise; Filtertechnik, Kopplung und

Aluminium-Elektrolyt-Kondensator

<i>Bauform</i>	<i>Eigenschaften</i>	<i>Anwendung</i>
Durchführungskondensatoren zum Einlöten oder Einschrauben	widerstand, gute Klimabeständigkeit; je nach Art der Keramik positiver oder negativer TK mit guter zeitlicher Konstanz; große Zuverlässigkeit	Entkopplung bis zu höchsten Frequenzen in kommerzieller Gerätetechnik, Rundfunk und Fernsehen; Temperaturkompensation durch Wahl des TK
Spezialausführung		Für Impulsbetrieb
Mit Kunststoffumhüllung	Für alle Klimabeanspruchungen geeignet (panklimatisch)	
Aluminiumgehäuse, zentrale Schraubbefestigung, Lötstifte oder Sockel für gedruckte Schaltungen, konzentrische Lötdrahtanschlüsse für freitragenden Einbau	Wegen elektrochemischer Funktion nur für Gleichstrom unter Beachtung der Polarität geeignet; relativ niedriger Isolationswiderstand, dadurch „Reststrom“ bedingt; geringe Konstanz der Kapazität infolge Alterung, Temperatur- und Frequenzänderung, geringe Überspannungsfestigkeit; relativ hoher Verlustfaktor, der mit steigender Frequenz und durch Alterung größer wird	Lade- und Siebkondensator in Stromversorgungsteilen elektronischer Geräte; Spannungsüberbrückungskondensator bei Gleichspannungsteilern; Kopplungskondensator, wenn ein Polaritätswechsel am Kondensator verhindert wird und Erwärmung durch Wechselstrom nicht mehr als 10 K beträgt
Sonderausführungen Typen I B und II B		Zeitrelaisschaltungen, Blitz- und Schweißgeräte

	<i>Bauform</i>	<i>Eigenschaften</i>	<i>Anwendung</i>
<i>Tantal-Elektrolyt-Kondensator</i>	Zylindrischer Sinterkörper mit Drahtanschlüssen	Ähnlich der Aluminiumausführung, jedoch erweiterter Temperaturbereich, höhere Lebensdauer und Zuverlässigkeit	Wie Aluminium-Elektrolyt-Kondensator kommerzielle, militärische und raumfahrt-technische Anwendungen; hoher Preis

Veränderbare Kondensatoren

<i>Kondensatortyp</i>	<i>Bauform</i>	<i>Eigenschaften</i>	<i>Anwendung</i>
<i>Keramischer Scheibentrimmer</i>	Mit Lötflächen oder -stiften für gedruckte Schaltungen	Elektrische Eigenschaften wie keramische Festkondensatoren	Fest einstellbarer Abstimmkondensator für Schwingkreise und Filterschaltungen
<i>Lufttrimmer</i>	Ineinander-schraubbare, glockenförmige Beläge	Gute Eigenschaften, jedoch große Abmessungen	
<i>Drehkondensator</i>	Mit Lötflächen oder Lötstiften	Gute elektrische Eigenschaften, jedoch im Vergleich zu Festkondensatoren große Abmessungen	Durchstimmen von Schwingkreisen in der HF-Technik
<i>Trolitul-Drehkondensator</i>	Beläge aus Metallfolie mit Trolitul-Dielektrikum	Kleiner als Drehkondensator, höhere Verluste	

2.2.4. Kennzeichnung der Kondensatoren

<i>Bezeichnungsbeispiele</i>	<i>Papier-Kondensator</i>	A	0,25 / 250	—	464	TGL	14	117
	Form A	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	Nennkapazität in μF	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	Nennspannung in V	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	Klimaprüfklasse	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	Standard-Nr.	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Bild 2.33. Kennzeichnung eines Papierkondensators

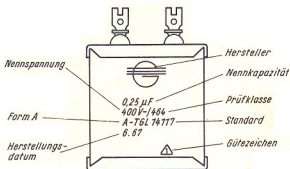
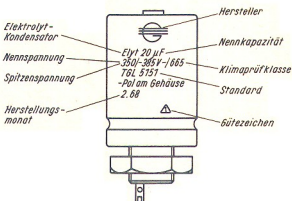


Bild 2.34. Kennzeichnung eines Elektrolytkondensators



Elektrolyt-Kondensator 20 / 350 — 665 TGL 5151
 Nennkapazität in F
 (bei 20 K und 50 Hz)
 Nennleichspannung in V
 Klimaprüfklasse
 Standard-Nr.

Wenn bei Kleinstausführungen die Oberfläche für vollständige Kennzeichnung nicht ausreicht, werden Kurzzeichen angewendet. Kennzeichnung als Dielektrikum verwendeter Sinterwerkstoffe erfolgt durch Kennfarben.

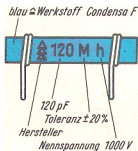
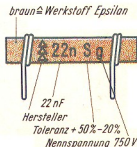


Bild 2.35. Kennzeichnung keramischer Kleinkondensatoren mit Kapazitätsangabe in pF

Bild 2.36. Kennzeichnung keramischer Kleinkondensatoren mit Kapazitätsangabe in nF



2.2.5. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

2.3. Spulen

2.3.1. Aufbau und Wirkungsweise

Verwendungszweck

Bauelemente der Elektronik und Elektrotechnik zur Erzeugung magnetischer Kraftwirkung, Strombegrenzung in Wechselstromkreisen, zum Übertragen von Wechselspannungen und in Verbindung mit Kondensatoren als Schwingkreis und Filter.

Symbol

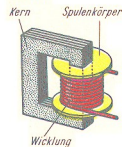
L Induktivität

Anwendung in Gleichungen und Schaltbildern



Bild 2.37. Schaltzeichen einer Spule bei HF und NF

Aufbau



Drahtwicklungen, entweder freitragend oder auf Spulenkörper gewickelt, Anschlüsse bzw. Anzapfungen für den Einbau in elektrische oder elektronische Schaltungen; Verbesserung der magnetischen Eigenschaften durch ferromagnetische Kerne möglich.

Bild 2.38. Aufbau einer Spule mit Eisenkern

Eigenschaften bei Gleichstrom

Fließt Gleichstrom I durch eine Spule, so bildet sich ein Magnetfeld Φ aus, das sich beim Abschalten durch Weiterfließen des Stromes zu erhalten versucht (Speicherwirkung). Charakteristische Kenngröße einer Spule (ähnlich der Kapazität C des Kondensators) ist die Induktivität L . Sie ist abhängig von Windungszahl, Länge und Durchmesser der Spule und Permeabilität des Magnetkerns. Ferromagnetische Stoffe (z. B. Eisen oder Nickel) können Induktivität und magnetische Kraftwirkung bei gleichem Strom wesentlich erhöhen.

Bei Änderung der Stromstärke um ΔI in der Zeit Δt wird in der Spule eine Spannung induziert.

$$U = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

U Spannung
L Induktivität
 ΔI Stromdifferenz
 Δt Zeitdifferenz

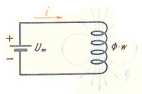


Bild 2.39. Spule im Gleichstromkreis

Eigenschaften bei Wechselstrom

$$X_L = \omega \cdot L \\ = 2 \pi f L$$

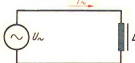


Bild 2.40.
Spule im Wechselstromkreis

$$U_2 \sim = \frac{w_2}{w_1} U_1 \sim$$

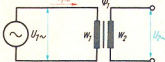


Bild 2.41. Gekoppelte Spulen im Wechselstromkreis, Transformator

Hauptkenngrößen von Spulen

Ändert sich Stromstärke $I \sim$ bei Anlegen einer Wechselspannung $U \sim$ ständig periodisch, so stellt die Spule frequenzabhängigen induktiven Blindwiderstand dar.

X_L , Induktiver Widerstand

ω Kreisfrequenz

L Induktivität

f Frequenz

Liegt eine zweite Spule mit der Windungszahl w_2 im Induktionsfluß Φ der Spule w_1 , die vom Wechselstrom $I_1 \sim$ durchflossen wird, so wird auch in der 2. Spule eine Spannung induziert.

$U_2 \sim$ Wechselspannung in Spule 2

w_2 Windungszahl Spule 2

w_1 Windungszahl Spule 1

$U_1 \sim$ Wechselspannung in Spule 1

Verbesserung der induktiven Kopplung beim Transformator durch zwei Spulen auf gemeinsamem Spulenkörper und geschlossenem Eisenkern.

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Nennwert der Induktivität	L	H
Zulässige Abweichung vom Nennwert (Toleranz)	$\frac{\Delta L}{L}$	%
Gleichstromwiderstand	R	Ω
Windungszahl	w	—
Drahtdurchmesser	d	mm
Drahtart und Isolation	—	—
Zulässiger Spulenstrom	I	A
Spulengüte	$G = \frac{X_L}{R}$	—
Eigenkapazität der Spule	C_L	F

2.3.2. Einteilung der Spulen

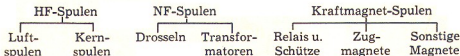
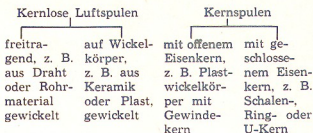


Bild 2.42. Standardisierte Symbole für Spulen



2.3.3. HF-Spulen

Einteilung



Zylinderspule



Spulen mit und ohne Kern

Kreuzspule



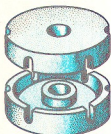
Kammerspulen



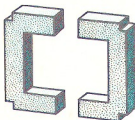
Bild 2.43

a) Hauptsächlichste Arten der HF-Spulen

b) Formen von Spulenkernen



Schalenkern



U-Kern

Geschlossene Eisenkerne



Ringkern



Gewindekern

Kernwerkstoff

Nur elektrisch nicht leitende Werkstoffe. Nichtmetallische Ferrite aus Mischkristallen von Metalloxiden mit ferromagnetischem Eisenoxid. Herstellung nach speziellen Sinterverfahren. Masseisenkerne; feinstverteilte Eisenteilchen (Korngröße μm) in polymerisierte Kunstharze isoliert eingebettet.

Formgebung

Pressen oder Spritzen in Formen

Betriebsverhalten und Anwendung

Spulengüte

Abhängig vom Verhältnis der Induktivität zum ohmschen Verlustwiderstand der Wicklung. Durch Verwendung von Masse- oder Ferritkernen mit relativ hoher Permeabilität wird Induktivität bei gleicher Windungszahl und damit gleichem Verlustwiderstand größer. Abmessungen der Spulen für die Erreichung einer bestimmten Induktivität vermindern sich.

Eigenkapazität

Unerwünschte Erscheinung zwischen den einzelnen Windungen und Lagen der Wicklung einer Spule; wegen der geringen Größe (einige pF) erst im Bereich hoher Frequenzen (z. B. 100 MHz) wirksam.

Anwendung

Drosseln für HF-Energie, da bei hoher Frequenz ω bzw. f großer Wechselstromwiderstand X_L wirkt, während Gleichstrom den geringen ohmschen Wicklungswiderstand nahezu ungehindert passieren kann.

In Verbindung mit festen oder veränderbaren Kondensatoren in Schwingkreisen oder Siebschaltungen, Bandfiltern, Hoch- und Tiefpässen, zur Erzeugung von HF-Schwingungen (in Oszillatoren) oder zum Übertragen, Sperren oder Trennen bestimmter Frequenzbereiche. Teilweise dabei induktive Kopplungen von zwei oder mehreren Spulen wie bei NF-Transformatoren.

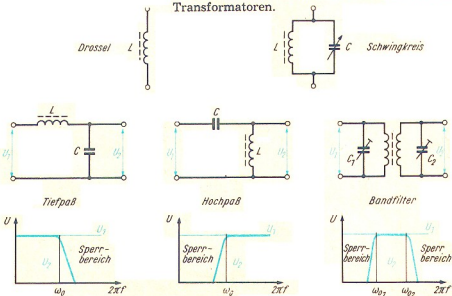


Bild 2.44. Anwendungsbeispiele für HF-Spulen

2.3.4. NF-Spulen

Werkstoff und Aufbau

Wicklung aus isoliertem Kupfer- oder Aluminiumdraht mit Löt-, Steck- oder Schraubanschlüssen. Spulenkörper aus Plast oder Hartpapier als Träger der Wicklung.

Kern als Blechpaket aus Spezialeisenblechen, voneinander durch Lack-, Oxid- oder Papierschicht isoliert, um Wirbelstromverluste im Kern gering zu halten.

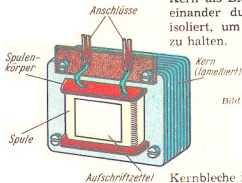


Bild 2.45. Aufbau einer NF-Drossel

Kernbleche für Transformatoren sind standardisiert.

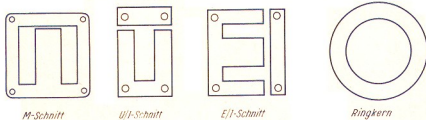


Bild 2.46. Hauptsächliche Kernblechformen

Erforderliche Größe der Kerne nimmt mit zu übertragender Leistung und kleiner werdender Betriebsfrequenz zu.

Betriebsverhalten und Anwendung

Spulen im Niederfrequenzbereich werden als Drosseln oder unter Ausnutzung der induktiven Kopplung zweier oder mehrerer Spulen als Transformatoren verwendet, weiterhin zur Umwandlung akustischer Schwingungen in elektrische und umgekehrt.

Drosselspulen

Sperren Wechselströme und lassen Gleichströme nahezu ungehindert passieren (s. HF-Drossel). Eingesetzt zur Siebung von Gleichströmen mit überlagertem Wechselstrom, z. B. zur Verminderung der Restwelligkeit bei Gleichrichtung von Wechselströmen.

Verlustarmer Blind-Vorschaltwiderstand, z. B. beim Betrieb von Lichtbogenlampen, Gasentladungs-Leuchtstofflampen.

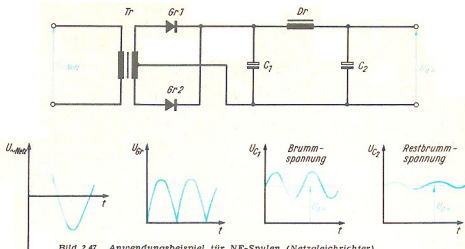


Bild 2.47. Anwendungsbeispiel für NF-Spulen (Netzgleichrichter)

Dabei vielfach zusätzlich die Eigenschaft genutzt, eine Spannung zu induzieren, die proportional der Stromänderung $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ ist. Bei plötzlicher Stromunterbrechung dadurch Spannungsspitzen (z. B. in Zündspule am Kraftwagenmotor).

Transformatoren

Dienen dazu, eine gegebene Wechselstromquelle durch Wahl des Übersetzungsverhältnisses der Spulenwindungszahlen den benötigten Werten der Ströme und Spannungen anzupassen.

Bezeichnungsweise

Bezeichnung	Anwendungsgebiet	Besonderheiten
Umspanner	Starkstromtechnik	Ströme bis 10^5 A, Spannungen bis $2 \cdot 10^6$ V
Übertrager	Tonfrequenztechnik	Frequenzen bis 20 kHz
Strom- bzw. Spannungswandler	Meßtechnik	Meßtechnische Erfassung großer Ströme und hoher Spannungen mit normalen Strom- und Spannungsmessern möglich
Netztransformatoren	Stromversorgung von Geräten	Primärwicklungen für den Anschluß an das Wechselstromnetz, eine oder mehrere Sekundärwicklungen

Trenntransformatoren

Vollständige Isolation der Primär- und Sekundärspulen eines Transformators. Galvanisch getrennte Wechselstromkreise (z. B. als Schutzmaßnahme) miteinander gekoppelt.

Stelltransformatoren

Verstellbarer Abgriff an der Sekundärwicklung zum Einstellen stetig veränderlicher Sekundärspannungen.

Spartransformatoren

Zur Einsparung von Kupferdraht, Volumen und Masse nur eine Spule mit verschiedenen Anzapfungen, an denen entsprechend der Windungszahl w , z. B. über einen Stufenschalter Sch , verschiedene Spannungen U_v abgegriffen werden können.

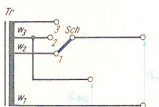


Bild 2.48. Spartransformator mit Stufenschalter

2.3.5. Kraftmagnete

Werkstoff und Aufbau

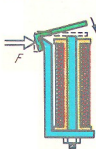
Eisenkern

Besteht aus eigentlichem Kern, der mit dem bewickelten Spulenkörper fest verbunden, und beweglichem Teil, dem Anker oder Joch.

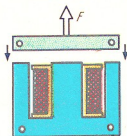
Durch Federkraft wird der bewegliche Teil vom feststehenden Kern abgehoben und beim Einschalten des Spulenstromes durch die Magnetkraft angezogen.

Amperewindungszahl

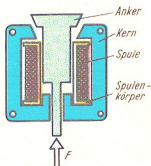
Maß für die Kraftwirkung



Klopfanker-Magnet
(Relais)



Joch-Magnet
(Zugmagnet)



Topf-Magnet
(Stoßsteuermagnet)

Bild 2.49. Funktionsweise von Kraftmagneten

Betriebsverhalten und Anwendung

Je nach Betriebsstromart

bei Gleichstrom

massive Weicheisenkerne oder Blechpakete

bei Wechselstrom

lamellierte Blechpakete wie bei Transformatoren

Bezeichnung	Arbeitsprinzip	Anwendung
Schütze und Relais	Klappanker oder Joch	Für Gleich- oder Wechselstrom
Magnetventile	Topfmagnete mit konzentrischem Stoßanker	
Zugmagnete für mechanisch betätigte Stellglieder	Topfmagnete oder M-Schnitt mit konzentrischem Anker	Für Gleich-, Ein- oder Dreiphasenwechselstrom
Magnetspannplatten und -kupplungen	Lamellierte Polflächen abwechselnder Polarität	Für Gleichstrom

2.3.6. Kennzeichnung der Spulen

HF-Spulen

Meist keine Kennzeichnung am Erzeugnis

NF- und Kraftmagnetspulen

Aufschriftzettel mit folgenden Angaben:

Magnetspule

2300 - 18 200 - 0,08 - Cu L EMB 2.03220.Bv

Widerstand in Ω

Windungszahl

Drahtdurchmesser in mm

Drahtart (Kupfer-Lackdraht)

Herstellerzeichen

Bauvorschrift-Nr.

Transformatoren und Drosseln

Häufig werden Nennspannungen bzw. Nennströme angegeben.

Tonfrequenzübertrager

Wechselstromwiderstand bei einer Frequenz von 800 Hz wird angegeben.

2.3.7. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

2.4. Halbleiterwiderstände

2.4.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten

Verwendungszweck



Bild 2.50. Schaltzeichen eines nichtlinearen Widerstands

Bauelemente, insbesondere zur Begrenzung von Einschaltströmen, Kompensation der Temperaturabhängigkeit anderer Bauelemente, Stabilisierung von Gleich- und HF-Spannungen, zur Messung von HF-Leistungen und Temperaturen, zur Funkenlöschung an Schaltkontakten.

Aufbau



Bild 2.51. Bauform von Halbleiterwiderständen

Stab-, Scheiben- oder pillenförmige gesinterte Halbleiter aus Mehrstoffsystemen, deren Komponenten Oxide oder Karbide sind, mit geeigneter Kontaktierung und Anschlüssen für den Einbau in elektrische Schaltungen.

Eigenschaften

Heißeiter
oder Thermistoren
(temperaturabhängige
Widerstände)

Halbleiter (z. B. Urandioxid) haben gegenüber Metallen relativ hohen elektrischen Widerstand. Bei Erhöhung der Temperatur lösen sich im Kristallgefüge Bindungselektronen ab, die beim Anlegen einer Spannung Strom durch den Halbleiter fließen lassen. Widerstand nimmt exponentiell mit der Temperatur ab, wobei die prozentuale Widerstandsänderung etwa zehnmal so groß wie die Widerstandserhöhung bei Metallen ist.

$$R = a \cdot e^{b/T}$$

R Widerstand

a Mengenkonzstante (abhängig von den Eigenschaften des Werkstoffes und der Formgebung)

e 2,718 Basis der natürlichen Logarithmen

b Energiekonstante (bestimmt die Größe der Temperaturabhängigkeit bei 20 °C)

T absolute Temperatur

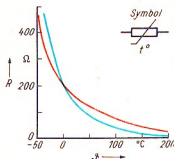


Bild 2.52. Temperaturabhängigkeit des Widerstands von Heißeitern (Thermistoren)

Varistoren oder
VDR-Widerstände

Voltage dependant resistor (engl.) (spannungsabhängiger Widerstand). Im Unterschied zu Thermistoren Widerstand abhängig von angelegter Spannung. Dadurch im Gegensatz zu ohmschen

Widerständen nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinie.

$$U = C \cdot I^\beta$$

U Spannung

I Stromstärke

C, β Konstante

C und β bestimmen Form und Nichtlinearität der Kennlinie; Material und Abmessungen des Varistors davon abhängig.

Halbleitermaterial

Siliziumkarbidpulver, gepreßt oder gezogen und anschließend gesintert; Zink als Kontaktmaterial.

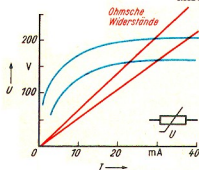


Bild 2.53. Strom-Spannungs-Kennlinie von Varistoren

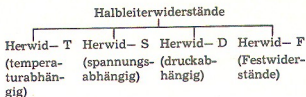
Kenndaten von Thermistoren

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Nennspannung	U_N	V
Nennstrom	I_N	A
Kaltwiderstand	R_{20}	Ω
Toleranz des Kaltwiderstandes (bei 20 °C Umgebungstemperatur)	—	%
Energiekonstante	b	K
Toleranz der Energiekonstante	$\frac{\Delta b}{b}$	%
Maximale Belastbarkeit	$P_{V \max}$	W
Betriebstemperatur	ϑ	K
Erholungszeit (Abkühlungszeit-Konstante)	τ	s

Kenndaten von Varistoren

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Konstante (Formfaktor)	C	Ω
Nennspannung	U_N	V
Nennstrom	I_N	A
Nichtlinearitäts-Koeffizient (Regelfaktor)	β	—
Maximale Belastbarkeit	$P_{V \max}$	W

2.4.2. Bauformen von Halbleiterwiderständen



2.4.3. Betriebsverhalten und Anwendung

Temperaturabhängige Widerstände



Bauform	Kennbuchstaben	Betriebsverhalten	Anwendung
	TNA	Hoher Kaltwiderstand zur Einschaltstrombegrenzung	Anlaßwiderstand für Heizkreise von Elektronenröhren
		Verzögerung des Ansprechstromes durch thermische Zeitkonstante	Verzögerung von Relais
	TNM	Meßfühler in einer Widerstandsbrückenschaltung, Thermistor wirkt als Widerstandsthermometer	Temperaturmessung
	TNT		Tiefemperaturmessung
	TNV	Ausnutzung der veränderlichen Wärmeableitung in Abhängigkeit vom Gasdruck	Vakuummeßwiderstände
	TNR	Widerstandsänderung durch Eigen erwärmung im evakuierten Glas kolben	Regelausführung zur HF-Spannungsstabilisierung und Leistungsmessung



Bild 2.56



Bild 2.57



Bild 2.58

TNI	Arbeitspunkteinstellung durch Verändern der Zusatzheizung	HF-Spannungsstabilisierung mit indirekter Zusatzheizung
TNS	Infolge der sehr geringen Masse der Spezialausführung in Perlform nahezu verzögerungsfreie Temperatur- und Widerstandsänderung	Direktanzeigende Temperatur- und HF-Leistungsmessungen und Messung von Strömungsgeschwindigkeiten
TNK	Ausnutzung des negativen Temperaturkoeffizienten	Kompensationswiderstand zur Kompensation des positiven TK anderer Bauelemente

Spannungsabhängige Widerstände

Bauform

Kennbuchstaben

Betriebsverhalten

Anwendung

SV

Ausnutzung der nichtlinearen Strom-Spannungskennlinien

Spannungsstabilisierung, Meßbereichdehnung bei Strom- und Spannungsmessern



Bild 2.59. Bauform spannungsabhängiger Widerstände

SÜ

Kurzschließen von Spannungsspitzen beim Ausschalten von Spulenströmen durch Verminderung des Widerstandes

Überspannungsableiterscheiben zur Funkenlöschung an Schaltkontakten

Hauptsächlich für Zwecke der Funkentstörung benutzt.

Festwiderstände (Massewiderstände)

FE Entstörowiderstände
FD Dämpfungswiderstände
FZ Zündwiderstände

2.4.4. Kennzeichnung der Halbleiterwiderstände

Beschriftung entweder durch Buchstaben- und Zifferngruppe oder durch internationale Farbcode, bezogen auf Widerstands- oder Spannungswert.

Halbleiterwiderstand T N A 12/300
 Temperaturabhängig
 Negativer Temperaturkoeffizient
 Für Anlaßzwecke
 Spannungsabfall in V
 bei Nennstrom von mA

Halbleiterwiderstand S V 390/10 - 44
 Spannungsabhängig
 Varistor
 Spannungsabfall in V
 bei Nennstrom von mA
 Scheibendurchmesser in mm

2.4.5. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

3. KONTAKTBAUELEMENTE

3.1. Schalter

Verwendungszweck



Bild 3.1. Schaltzeichen eines Schalters

Aufbau



Bild 3.2. Widerstandswert eines idealen Schalters,
Kontakt geöffnet
Kontakt geschlossen

Bauelemente zum willkürlichen oder selbständigen Ein- und Ausschalten von Stromkreisen.

Metallische Schaltkontakte, die sich durch Schwenk-, Dreh- oder Hubbewegung gegenseitig berühren können. Zum Einbau in elektrische Schaltungen leitende Verbindungen von den Kontakten zu Steck-, Schraub- oder Lötanschlüssen.

Kenndaten von Schaltern

Bezeichnung

Formel-
zeichen

Einheit

Nennstrom

I_N

A

Nennspannung

U_N

V

Nennleistung

P_{nenn}

W

Schaltvermögen

I_s

A

Isolationswiderstand

R_{Is}

Ω

Durchgangswiderstand

R_D

Ω

Lebensdauer, garantierte

n

—

Schaltzahl

Schalthäufigkeit

$\frac{n}{h}$

h^{-1}
od. min^{-1}

Prüfspannung

U_p

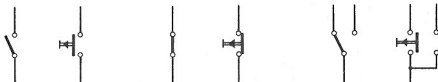
V

Folgende Kontakte finden bei Schaltern Verwendung:

Bei Betätigung wird der Stromkreis unterbrochen

Bei Betätigung wird der Stromkreis eingeschaltet

Bei Betätigung wird ein Stromkreis ein- und ein anderer Stromkreis ausgeschaltet



Schließer

Öffner

Umschalter

Bild 3.3. Schaltzeichen für Schaltglieder, allgemein und Tastschalter

Vielfach werden Schalter bereits durch Gasentladungsröhren oder Halbleiterbauelemente ersetzt. Gegenüber diesen kontaktlosen „Schaltern“ haben konventionelle Schalter folgende

Vor- und Nachteile

Vorteile

Relativ einfacher Aufbau und geringerer Preis, hohe Überlastbarkeit (kurzzeitig bis zum Vielfachen des Nennstromes); völlige galvanische Trennung der Stromkreise; leichte Erklärbarkeit der Funktion anhand der Schaltung und einfache Funktionskontrolle

Nachteile

Relativ geringe Schaltgeschwindigkeit infolge mechanisch bewegter Teile; begrenzte Lebensdauer durch mechanischen Verschleiß und Abbrand der Kontakte; Unsicherheit der Kontaktgabe, besonders bei niedrigen Schaltspannungen; großes Volumen und große Masse gegenüber elektronischen Schaltern

3.2. Steckverbindungen

Verwendungszweck



Stecker-Buchse

Bild 3.4. Schaltzeichen einer Steckverbindung

Aufbau

Herstellung lösbarer elektrisch leitender Verbindungen in der Elektrotechnik und Elektronik.

Kontaktgebende Teile, z. B. Steckbuchsen und Steckerstifte aus Metall und für die Halterung erforderliche Isolierstoffteile.

Wichtigste Kenndaten von Steckverbindungen

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Nennstrom	I_N	A
Nennspannung	U_N	V
Prüfspannung	U_p	V
Kontaktwiderstand	R_D	Ω
Isolationswiderstand	R_{Is}	Ω
Luft- und Kriechstrecken	s	mm

Bezeichnung	Formel- zeichen	Einheit
Wellenwiderstand	Z	Ω
Klimaprüfklasse und Schutzgrad	—	—
Nutzungsdauer (Anzahl der Steckungen)	n	—

HF-Steckverbindungen

Aufbau



Stecker- Buchse

Bild 3.5. Schaltzeichen für HF-Steckverbindung

Aufbau meist als Koaxial-Steckverbindung. Ermöglicht nahezu reflexionsfreien Anschluß von koaxialen HF-Kabeln mit international standardisierten Wellenwiderständen $Z = 50 \Omega$ bzw. $Z = 75 \Omega$

Zwei ungleiche Teile: polarisierte Steckverbindungen (Buchse, Stift)

Zwei gleiche Teile: symmetrische Steckverbindungen

NF-Steckverbindungen

Geeignet für Frequenzen bis 3 MHz, z. B. für die Verbindung von Kabeln untereinander bzw. zum Anschluß von Kabeln an Geräten. Beide Teile (Stecker und Steckdose) sind unsymmetrisch.

3.3. Relais

3.3.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten

Verwendungszweck



Bild 3.6. Schaltzeichen eines Relais

In Steuerungen und Regelungen, EDVA, Fernmelde-, Starkstrom- und Meßtechnik als Verstärkerelement mit binärer O-L-Ausgangsgröße; zur Realisierung logischer Verknüpfungsschaltungen; häufig Kombination von Relais mit Halbleiterbausteinen und Schützen.

Aufbau

Allgemeinste Form besteht aus einer oder mehreren Spulen mit Eisenkern und Anker entsprechend Bild 2.49 und einem oder mehreren Kontaktsätzen, die durch die Ankerbewegung betätigt, das heißt geschlossen, geöffnet oder umgeschaltet werden. Darüber hinaus viele Spezialausführungen: polarisierte Relais mit zusätzlichem Permanentmagneten im Eisenkreis
Drehspulrelais, deren Aufbau einem Drehspulmeßinstrument ähnelt
Langzeitrelais, bei denen die Kontakte durch einen Kleinmotor mit Getriebe betätigt werden

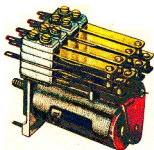


Bild 3.7. Aufbau eines Relais mit elektromagnetischem Antrieb

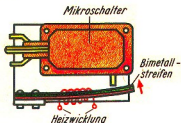


Bild 3.8. Mikroschalter-Thermorelais

elektronische Relais, bei denen die Signalverarbeitung durch eine elektronische Schaltung erfolgt Thermorelais, die auf Änderung einer Temperatur als Wirkungsgröße ansprechen und durch Bimetallstreifen betätigt werden

Eigenschaften

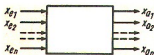


Bild 3.9. Black-box-Darstellung

Relais übertragen 2- oder 3wertige Signale, indem sie die Ausgangsgrößen x_a bei Über- oder Unterschreiten des Schwellwertes bestimmter Eingangsgrößen x_e entsprechend einer vorgegebenen Gesetzmäßigkeit verändern, das heißt ein-, aus- oder umschalten. Im allgemeinen sind Eingangswirkungsgrößen Ströme, Spannungen oder Temperaturen. Ausgangsgrößen werden durch Kontakte bestimmt (drei hauptsächliche Arten):



Bild 3.10. Relais für zweiwertige O-L-Signale

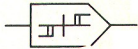


Bild 3.11. Relais mit neutraler Mittellage

Arbeitskontakte oder Schließer



Bild 3.12. Arbeitskontakt oder Schließer

Ruhekontakte oder Öffner



Bild 3.13. Ruhekontakt oder Öffner

Umschaltkontakte

Im Ruhezustand geöffnet; schließen einen Stromkreis bei Überschreiten eines Schwellwertes der Eingangsgröße

Im Ruhezustand geschlossen; öffnen einen Stromkreis bei Überschreiten eines Schwellwertes der Eingangsgröße

Schließen im Ruhezustand einen Ruhestromkreis; schalten bei Überschreiten des Schwellwertes einen Arbeitsstromkreis ein, während der Ruhestromkreis unterbrochen wird



Bild 3.14. Umschaltkontakt mit Ruhelage an einem festen Schaltkontakt



Bild 3.15. Umschaltkontakt mit neutraler Ruhelage

Sind im Ruhezustand in neutraler Mittellage und schalten in Abhängigkeit von der Stromrichtung (Polarität) den einen oder den anderen Stromkreis ein

Relais-Kenndaten	Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Eingangsseite	Wirkungsgröße, z. B. Strom oder Spannung	I	A
		U	V
	Nennwert der Wirkungsgröße	I_N	A
		U_N	V
	Anzugs-, Halte- und Abfallwerte der Wirkungsgröße	—	—
	Spulenangaben	s. Abschn. 2.3.	
Ausgangsseite	Besonderheiten der Ausgangsseite, z. B. Kontaktart und -anzahl	—	—
	Nennstrom und Schaltvermögen	I_N	A
		I_S	A
	Nennspannung	U_N	V
	Prüfspannung	U_p	V
	Schaltzeiten absolut (Anzugs- bzw. Abfallverzögerung) sowie relativ zueinander, z. B. Unterbrechung beim Umschalten	t	s

3.3.2. Bauformen, Wirkungsweise, Hauptkennwerte, Anwendung und Betriebsverhalten

	Bauformen	Wirkungsweise	Hauptkennwerte	Anwendung und Betriebsverhalten
Neutrale Gleichstromrelais	Flachrelais (flacher Eisenquerschnitt); Rundrelais (runder Eisenquerschnitt);	Eingangsgröße ist elektrischer Strom bis 6 A durch eine Magnetspule; Magnetkraft	Nennstrom BMSR-Technik, Steuerungs-	Fernmelde- und BMSR-Technik, Steuerungs-

Bauformen	Wirkungs- weise	Haupt- kenn- werte	Anwen- dung und Betriebs- verhalten
kleine, mittlere und große Ausführung mit und ohne Schutzkappe	zieht Anker an, der Kontakte betätigt; Ausgangsgröße ist Schaltzustand der Kontakte		schaltungen Anzug- und Abfallzeiten 5 ... 25 ms
Spezialausführung mit Lötstiften			Gedruckte Schaltungen



Bild 3.16. Schaltzeichen eines Relais mit zwei Wicklungen:
C1 Bezeichnung des Relais in einer Schaltung
1, 2, 3, 4 Kennzeichnung der Relaisanschlüsse
200, 300 Widerstandswerte der Relaiswicklungen in Ω

Wechselstrom-Hilfs- und Zwischenrelais



Bild 3.17. Schaltzeichen eines Wechselstromrelais

Aufbau ähnlich Gleichstrom-Relais, jedoch Magnetsystem aus lamelliertem Eisenkern (wie Trafo) mit Kurzschlußring im Kern

Vermeidung des Brummens bzw. Flatterns des Ankers durch Vermeidung des Nulldurchganges der Magnetkraft und größere Masse des Ankers

Nennströme bis 6 A

Steuerungen, insbesondere der Starkstromtechnik mit Wechselstrombetrieb, Kombinationsschaltungen mit

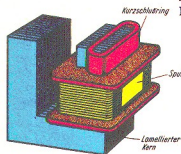


Bild 3.18. Eisenkern eines Wechselstromrelais mit Kurzschlußring

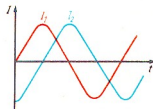


Bild 3.20. Zeitlicher Verlauf der Ströme in den Spulen

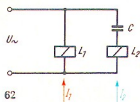


Bild 3.19. Schaltung der Spulen eines Wechselstrom-Zweiphasenrelais

Bauformen	Wirkungsweise	Hauptkennwerte	Anwendung und Betriebsverhalten
Zweiphasenrelais mit zwei getrennten Eisenkernen und einem Kondensator in der Zuleitung einer Spule	Durch elektrische Phasenverschiebung der Wechsel-Magnetfeld der Null-durchgang in beiden Kernen zeitlich gegeneinander verschoben		Halbleiterbausteinen

Polarisierte Relais



Bild 3.21. Gepolte Relais, Schaltzeichen

Ferromagnetischer Kontaktträger befindet sich im Magnetfeld eines Permanent-Magneten, dem das Elektromagnetfeld einer Spule überlagert wird	Stromrichtung (Polarität) kann unterschieden werden, da das Spulenmagnetfeld je nach Stromrichtung das permanente Feld verstärkt oder abschwächt. Anzug nach links oder nach rechts	Eingangsstromleistung etwa 0,1 mW Schaltfrequenz bis 500 Hz	Fernmelde-technik, wenn große Leistungsverstärkung (10 ⁶) erforderlich, wenn in Abhängigkeit von der Polarität geschaltet wird und wenn hohe Schaltfrequenzen erforderlich sind
---	---	--	---

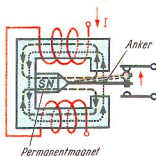


Bild 3.22 Aufbau



Bild 3.23 Arbeitsprinzip

Bauformen	Wirkungsweise	Hauptkennwerte	Anwendung und Betriebsverhalten
Thermorelais	Bimetallstreifen betätigt Kontakte	Durch Erwärmung von außen oder durch Strom Durchbiegung des Bimetalls	Kombination mit Schutzschaltern und Schützen, z. B. Motorschutz

Zeitrelais

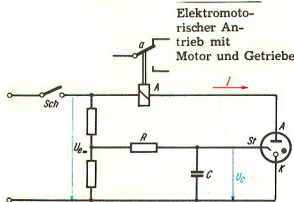


Bild 3.24. Zeitrelais mit Anzugsverzögerung



Bild 3.25. Zeitrelais mit Abfallverzögerung

Elektromagnetischer Antrieb mit Kurzschlußwicklungen und Kondensatoren	Verzögertes Einschalten von Stromkreisen, Anzugsverzögerung	Zeitverzögerung $t_v = 5 \text{ ms}$ bis 10 s	Zeitabhängige Schaltungen, z. B. verzögertes Anlaufen einer Kompressorpumpe, verzögertes Abschalten einer Rolltreppe
Elektromechanischer Antrieb mit mechanischem Hemmwerk oder Uhrwerk	Verzögertes Abschalten von Stromkreisen, Abfallverzögerung	$t_v = 1 \text{ s}$ bis 20 min	



Elektromotorischer Antrieb mit Motor und Getriebe	$t_v = 1 \text{ min}$ bis 24 h	Verzögertes Umschalten von Drehstrommotoren (Stern-Dreieck-Schaltung)
---	--	---

Bild 3.26. Vereinfachtes Prinzipschaltbild eines elektronischen Zeitrelais

Elektronisch mit Schaltglied, das über eine Kondensatoraufladung ausgelöst wird.	$t_v = 5 \text{ ms}$ bis 60 min
--	---

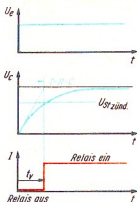


Bild 3.27. Strom- und Spannungs-Zeit-Diagramme

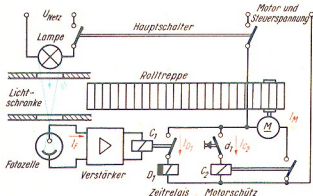
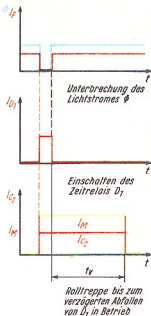


Bild 3.28. Zeitplansteuerung einer Rolltreppe, vereinfachtes Prinzipschaltbild



In Einsatzgebieten, zum Beispiel der EDVA, bei numerischen Steuerungen und digitalen Regelungen werden Relais bereits durch Halbleiterbausteine ersetzt. Vor- und Nachteile der Relais gegenüber diesen kontaktlosen Bausteinen entsprechen der Gegenüberstellung im Abschnitt 3.1.3. „Vor- und Nachteile der Schalter“.

3.4. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

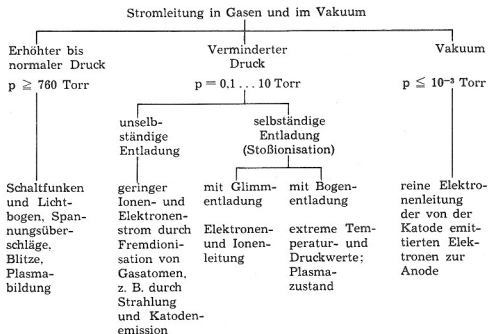
4. GASENTLADUNGSRÖHREN

4.1. Allgemeine Grundlagen

4.1.1. Physikalische Grundlagen der Gasentladung

Bedingungen der
Stromleitung in Gasen

Unter normalen Druck- und Temperaturbedingungen sind Gase Nichtleiter oder Isolatoren. Bei extrem hohen Temperaturen unter Einwirkung hoher elektrischer Feldstärken oder bei verminderter oder erhöhtem Druck können sie jedoch gute bis sehr gute Leitfähigkeit erreichen.



Normaldruck von 760 Torr

Luft ist guter Isolator; erhöht sich jedoch die Feldstärke, zum Beispiel an sich öffnenden Kontakten eines Schaltgerätes infolge einer Induktionsspannung, so wird die Luftstrecke zwischen den Kon-

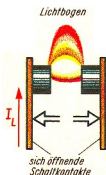


Bild 4.1. Schaltlichtbogen

Druck $< 10^{-3}$ Torr
(Vakuum)

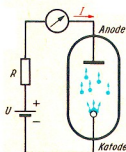


Bild 4.2. Elektronenstrom in Vakuumröhre

Druck von $0,1 \dots 10$ Torr

Unselbständige Entladung

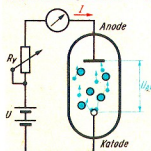


Bild 4.3. Elektronenstrom in gasgefüllter Röhre

Selbständige Entladung
(Stoßionisation mit
Glimmentladung)

takten ionisiert. Es bildet sich ein Funken oder Lichtbogen (Plasma), der den Strom bis zum Verschölen weiterführt.

Absolutes Vakuum mit technischen Mitteln nicht herzustellen. Bei Druckwerten von 10^{-3} Torr, zum Beispiel in Glaskolben, Gasdichte jedoch so gering, daß kein ausreichender Stromtransport durch Gasionen mehr möglich. Dagegen ergibt sich die Möglichkeit, von einer in das Glas eingeschmolzenen Katode (negative Elektrode) ausgesendete Elektronen (kleinste negative Ladungsträger) völlig dämpfungsfrei zu einer Anode (positive Elektrode) fliegen zu lassen. Elektronenleitung im Vakuum bei allen Elektronenröhren, wie Verstärkerröhren, Senderöhren, Oszillografen- und Fernsehbildröhren, angewendet.

Zur Erklärung der Vorgänge dient ein Glaskolben mit eingeschmolzenen gasdichten Drahtdurchführungen für Katode und Anode.

Wird an diese Elektroden eine Gleichspannungsquelle geringer Spannung angeschlossen, so fließt kaum meßbarer Elektronenstrom von der Katode zur Anode, ähnlich wie bei der Vakuum-Elektronenröhre;

Größe des Stromes hängt ab:

von der Anzahl der von der Katode abgegebenen Elektronen

von der im Gas durch äußere Strahlungseinwirkung entstehenden Anzahl von Elektronen und Ionen

von der angelegten Spannung

Daher: unselbständige Gasentladung

Wird angelegte Gleichspannung vergrößert, so werden Elektronen auf dem Wege zur Anode beschleunigt. Beim Auftreffen auf Gasmoleküle oder Atome

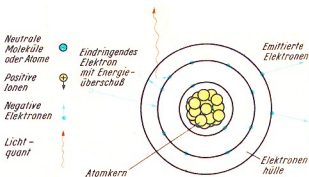


Bild 4.4. Licht- und Elektronenemission (Atommodell)

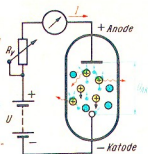


Bild 4.5. Elektronen- und Ionenstrom in gasgefüllter Röhre

dringen sie in das Atomgefüge ein. Dabei freiwerdende kinetische (Bewegungs-)Energie regt Atome zum Aussenden von Licht bestimmter, für das Gas charakteristischer Wellenlänge bzw. Leuchtfarbe an (Glimmentladung). Gleichzeitig werden mehrere andere Elektronen durch Energieüberschuss des eindringenden Elektrons aus dem Atomverband herausgeschlagen und vom elektrischen Feld in Richtung Anode beschleunigt. Dort treffen sie wieder auf Gasmoleküle oder Atome und schlagen weitere Elektronen heraus. Es kommt zu lawinenartigem Anwachsen von Ladungsträgern (Stoßionisation), wobei die negativen Elektronen zur positiven Anode und die positiven Gasatom- oder Molekülreste (Ionen) zur negativen Katode fliegen. Dort nehmen sie ihnen fehlende Elektronen wieder auf, rekombinieren wieder zu neutralen Gasatomen.

Bogenentladung (Plasmabildung)

Wird beim Einsetzen der Stoßionisation die Stromstärke nicht durch entsprechenden Vorwiderstand begrenzt, so ergibt sich durch Lawinenwirkung so starke Stromerhöhung und Erwärmung, daß der Glaskolben zerstört wird und die Elektroden explosionsartig verdampfen. Infolge hoher Stromdichte ergeben sich extrem hohe Temperaturen und Drücke in der gut leitfähigen, hochionisierten Entladungsstrecke. Man bezeichnet diesen Zustand eines Gases als 4. Aggregatzustand (Plasma), weil Gase dann in vieler Hinsicht festen Körpern ähneln.

Während Gasentladungsröhren mit Ausnahme von Quecksilber-Hochdrucklampen und -Gleichrichtern hauptsächlich im Bereich der Stoßionisation mit Glimmentladung arbeiten, tritt Plasmabildung bei Bogenlampen, im Lichtbogen von Leistungsschaltgeräten und beim Plasma-Bogenschweißen auf.

4.1.2. Verwendungszweck, Aufbau und Wirkungsweise von Gasentladungsröhren

Verwendungszweck



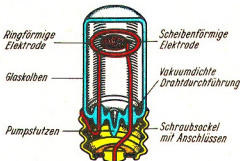
Bild 4.6. Schaltzeichen für Stabilisatorröhre



Bild 4.7. Schaltzeichen für Kaltkathoden-Relaisröhre

Bild 4.8. Signalglimmlampe (Schnitt)

Als Signallampen in Geräten, Schalttafeln und Steuerpulten; für Beleuchtungszwecke und Leuchtreklame, zur Stabilisierung von Gleichspannungen, zur Erzeugung von Kippschwingungen, als Schaltverstärker in Zeitrelais, als gesteuerter und ungesteuerter Gleichrichter, als digitale Zähl- und Anzeigeröhre.



Aufbau

Meist vakuumdicht geschlossene Glas- oder Metallkolben mit spezieller Gas- oder Quecksilberdampf-Füllung. In die Kolben sind zwei oder mehrere voneinander isolierte stab-, band-, zylinder- oder scheibenförmige Metallelektroden bzw. eine direkt oder indirekt geheizte Katode eingesetzt. Anschlüsse mit Hilfe gasdichter Drahtdurchführungen. Meist als Steck- oder Schraubsockel für den Einsatz in Röhrenfassungen, die auf Leiterplatten, Chassis oder in Steuerpulten fest mit der übrigen Schaltung verbunden werden.

Wirkungsweise (elektrisches Verhalten)

Bei Gasentladungsröhren sind am Verlauf der Strom-Spannungs-Kennlinie drei Bereiche zu erkennen:

Bereich 1: unselbständige Entladung

Man schließt eine beliebige Gasentladungsröhre über einen Vorwiderstand R_v an eine von $U_e = 0$ bis $U_e = U_{max}$ veränderliche Gleichspannungsquelle und mißt den durch die Röhre fließenden Strom I und die an den Elektroden der Röhre anliegende Spannung U_{AK} . Die Röhrenspannung U_{AK} steigt proportional mit U_e an, während der Strom I klein bleibt, bis die Zündspannung U_z erreicht ist

$U_e = 0 \dots U_z \hat{=} \text{Bereich 1: unselbständige Entladung}$

Bild 4.9. Schaltung zur Aufnahme einer Strom-Spannungs-Kennlinie

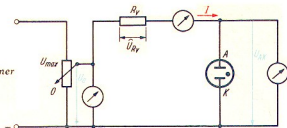
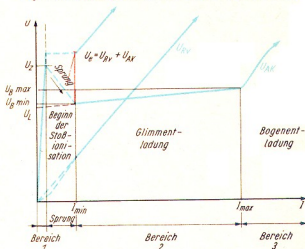


Bild 4.10 Strom-Spannungs-Kennlinie einer Gasentladungsröhre



Bereich 2: Glimmentladung selbständige Entladung

Bei Erreichen der Zündspannung setzt Stoßionisation, verbunden mit Glimmentladung, ein. Röhrenspannung bricht durch einsetzenden Strom I auf Brennspannung $U_{B \min}$ zusammen. Glimmentladung bleibt noch erhalten. Differenzspannung zwischen Zünd- und Brennspannung ergibt sich durch den Spannungsabfall am Vorwiderstand R_v

$$U_{Rv} = U_z - U_{B \min}$$

- U_z Zündspannung
- $U_{B \min}$ Brennspannung
- U_{Rv} Spannung am Vorwiderstand

Wird die Eingangsspannung U_e weiter erhöht, so bleibt die Brennspannung zunächst bis $U_{B \max}$ nahezu konstant, während der Strom I und damit auch die Spannung am Vorwiderstand etwa proportional mit der Eingangsspannung U_e ansteigen

$$U_{Rv} = I \cdot R_v$$

- U_{Rv} Spannung am Vorwiderstand
- I Stromstärke
- R_v Vorwiderstand

Dabei wird die Oberfläche der Elektroden mehr und mehr mit Glimmentladung bedeckt

$U_{AK} = U_{B \min} \dots U_{B \max} \hat{=}$ Bereich 2: selbständige Glimmentladung

**Bereich 3: Bogenentladung
(selbständige Entladung)**

$$R_v = \frac{U_{e \max} - U_{B \max}}{I_{\max}}$$

Löschen

Vergleich zwischen Gasentladungsröhre und Vakuumröhre

	Gasentladungsröhre	Vakuumröhre
Art der Ladungsträger	Elektronen und Ionen	Elektronen
Erzeugung der Ladungsträger	bis zur Zündung durch kalte oder geheizte Katode, nach der Zündung durch Stoßionisation	durch direkt oder indirekt geheizte Katode
Ströme bei vergleichbaren Abmessungen	50 mA . . 10 A 5 A . . 80 A	5 . . 300 mA 0,35 . . 5 A
Steuerbarkeit des Anodenstromes	Stromeinsatzpunkt kann gesteuert werden, jedoch nicht die Größe des Stromes. Löschen der Röhre durch Steuerelektroden nicht möglich, sondern nur durch Reduzieren der Anodenspannung	Stromwerte durch Steuerelektroden zwischen 0 und $I_{a \max}$ stetig veränderbar
Beispiele:		
Zweipolröhre	Glimmlampe, Stabilisator, Glimmgleichrichter	Gleichrichter, Diode

Eigentlicher Arbeitsbereich zur Spannungsstabilisierung, für den Gleichrichterbetrieb und bei Signal- und Zählröhren

Weitere Erhöhung der Eingangsspannung U_e bewirkt weitere Strom- und Spannungserhöhung an der Röhre und Übergang zum Bereich 3. Da zu große Stromdichte die Röhre zerstört, ist der Vorwiderstand R_v so zu bemessen, daß der für die Röhre zulässige Wert für I_{\max} nicht überschritten wird:

R_v Vorwiderstand
 $U_{B \max}$ maximale Brennspannung
 $U_{e \max}$ maximale Eingangsspannung
 I_{\max} maximale Stromstärke

Eine gezündete Gasentladungsstrecke brennt so lange, bis die Eingangsspannung U_e den für die Aufrechterhaltung der Stoßionisation erforderlichen Mindestwert $U_{B \min}$ unterschreitet: Löschespannung U_l .

Dreipolröhre	Relaisröhre, Thyatron	Triode	
Mehrpolelröhre	Zähl- und Anzeigeröhren	Pentode, Hexode	
Wichtigste Kenndaten von Gasentladungsröhren	Begriff	Formelzeichen	Einheit
	Zündspannung	U_z	V
	Brennspannung	U_{II}	V
	Maximale Anodensperresspannung	U_{a^2}	V
	Maximaler Katodenstrom	I_{kS}	A
	Heizspannung	U_h	V
	Heizstrom	I_h	A

4.2. Arten der Gasentladungsröhren

4.2.1. Einteilung der Gasentladungsröhren

Nach der Anzahl der Elektroden unterscheidet man Gasentladungsröhren mit:

2 Elektroden
(Katode, Anode)

Zünddioden mit Kaltkatode und Bogenentladung
Glimmdioden mit Kaltkatode und Glimmentladung
Gleichrichterröhren mit Glühkatode
Spannungsstabilisatorröhren mit Kaltkatode
Glimmlampen und Anzeigeröhren

3 oder 4 Elektroden
(zusätzliche Gitter oder Steuerelektroden)

Thyatronröhren mit Glühkatode und 1 oder 2 Steuergittern
Relaisröhren mit Kaltkatode und 1 oder 2 Steuerelektroden (Glimmentladung)
Leistungsschaltröhren mit Kaltkatode (Bogenentladung)

Mehr als 4 Elektroden

Anzeigeröhren für Ziffern und Zeichen mit Kaltkatode (Glimmentladung)
Dekadenzählröhren mit Kaltkatode (Glimmentladung)

Nach der Art der Erzeugung von Ladungsträgern (Elektronen) zur Einleitung der Stoßionisation unterscheidet man:

Kaltkatode

Glühkatode (geheizte Katode)

mit direkter
Heizung

mit indirekter
Heizung

Während bei der Kaltkatode Emission von Elektronen lediglich auf Grund der elektrischen Feldstärke

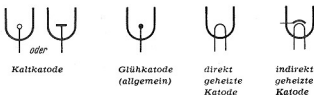


Bild 4.11. Standardisierte Schaltzeichen für Katoden

(Spannung zwischen Katode und Anode) bzw. nach Einsetzen der Stoßionisation (infolge des Auftreffens von Ionen) erfolgt, wird bei Glühkatoden der Elektronenaustritt aus dem Katodenmaterial durch erhöhte Temperatur wesentlich erleichtert:

Vor- und Nachteile der Kaltkatode gegenüber der Glühkatode

Vorteile

Keine Heizleistung benötigt (besserer Gesamtwirkungsgrad)
Ständige Betriebsbereitschaft (keine Anheizzeit)
Keine Ausfälle durch Heizfadenbruch möglich (große Lebensdauer)
Einfacher Aufbau und geringer Preis

Nachteile

Relativ hohe Zündspannung zur Einleitung der Stoßionisation
Geringer Emissionsstrom (für Gasentladungsröhren ausreichend, da nur zur Einleitung der selbstständigen Entladung benötigt, für Vakuumröhren jedoch nicht ausreichend)
Bei Wechselspannungsbetrieb kann Anode Rolle der Katode übernehmen (falsche Funktion)

4.2.2. Bauformen, Wirkungsweise, Anwendung und Betriebsverhalten

Röhrenart	Bauformen	Wirkungsweise	Anwendung und Betriebsverhalten
Kaltkathoden-, Anzeige-, Signal-, Zählröhren	Glimmlampen mit verschieden geformten Elektroden (z. B. Scheibe, Ring, Stab)	Ausnutzung des Leuchteffektes der Glimmentladung, z. B. Neon: rötlich-orangefarbene Leuchterscheinung auf der Katodenoberfläche	Anzeige eines Schaltzustandes (Bereitschaft, EIN, AUS) Signalisierung von Fehlern und Ausfällen von Geräteteilen



Bild 4.12. Schaltzeichen einer Kaltkathoden-Gasentladungsröhre

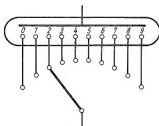


Bild 4.13. Schaltzeichen einer dekadischen Ziffern-anzeigeröhre mit Umschalter

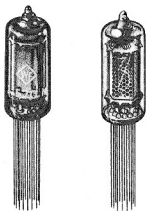


Bild 4.14. Ansicht einer Anzeigeröhre

Stabilisatorröhren

Bauformen

Sonderausführung mit Rotfilterlacküberzug

Wirkungsweise

Anwendung und Betriebsverhalten
Tageslichtbetrachtung

Ziffernanzeigeröhren mit mehreren getrennten Katoden in Form von Ziffern, Zeichen oder Buchstaben

Durch Anschluß jeweils einer Katode über Schalter nacheinander Anzeige verschiedener Ziffern in einer Röhre

Anzeige von Ziffern, Zeichen oder Buchstaben in EDVA und numerischen Steuerungen

Ziffernzählröhren mit stabförmigen Haupt- und Hilfskatoden, die kreisförmig um eine Anode angeordnet sind

Durch nacheinander folgende Übergabe der Glimmentladung von einer Hauptkatode zur nächsten mittels Impuls- oder Sinusspannungen erfolgt Zählung

Kombinierte dekadische Zähl- und Anzeigeröhren, wobei die Zählstellung an der jeweils leuchtenden Katode erkennbar

Kaltkathoden-Glimmröhren mit 2 Elektroden

Ausnutzung der nahezu konstanten Brennspannung im Bereich der selbständigen Entladung

Stabilisierung von Versorgungsspannungen mit einer Genauigkeit von $\pm 1,5$ bis $\pm 3\%$ bei



Bild 4.15. Stabilisatorröhre
Ansicht
Schaltzeichen

Bauformen

Wirkungsweise

Anwendung
und Betriebs-
verhalten
Einhaltung
der Grenz-
werte des
Röhrenquer-
stromes

Kaltkathoden-Relaisröhren



Bild 4.16. Schaltzeichen
einer Kaltkathoden-Relaisröhre

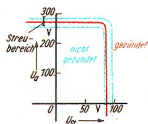


Bild 4.17. U_a - U_{St} -Kennlinien-
feld einer Kaltkathoden-Relais-
röhre

Zwischen groß-
flächiger Katode
und Anode
befinden sich
eine (oder mehr-
ere) Starter-
elektroden, wo-
bei die Anoden-
zündspannung
wesentlich höher
als die Anoden-
brennspannung,
die Starterzünd-
spannung aber
nur wenig höher
als die Brenn-
spannung ist

Beim Zünden
der Hilfsent-
ladung über die
Starterelektrode
wird die Haupt-
entladung
zwischen Anode
und Katode
mit eingeleitet,
auch wenn die
Anodenspan-
nung kleiner als
die Zündspan-
nung ist. Zum
Löschen ist kurz-
zeitige Unter-
brechung der
Anodenspan-
nung nötig

BMSR-Tech-
nik, z. B. in
Zeitrelais
(Bilder 3.27,
3.28). Beim
Einschalten
der Gleich-
spannung U_a
steigt Span-
nung an Kon-
densator U_C
verzögert an.
Nach Ver-
zögerungszeit
 t_v erreicht U_C
Wert der
Zündspan-
nung der
Starterelektrode
 U_{StZ} .
Relaisröhre
zündet, und
durch Ano-
denstrom der
Röhre zieht
Relais A um
 t_v verzögert
an

Spezialausfüh-
rung mit zusätz-
licher Hilfs-
elektrode

Spezialausfüh-
rung mit radio-
aktivem Material
im Glaskolben

Durch ständige
Hilfsentladung
oder Strahlen-
einwirkung kon-
stante Vor-Ioni-
sierung, um Un-
abhängigkeit
von äußeren
Einflüssen zu
erreichen

Bauformen

Wirkungsweise

Anwendung und Betriebsverhalten

Glühkatodenröhren

Gleichrichter-
röhren mit groß-
flächiger Ka-
tode und Anode,
mit unter-
schiedlichen
Gasfüllungen.
Fülldruck etwa
0.1 Torr

Nach Überschrei-
ten der Zünd-
spannung U_z
setzt Anoden-
strom ein, der
nur durch Vor-
widerstand be-
grenzt wird.
Ventilwirkung.

Gleichrich-
tung von
Wechselströ-
men, wobei
wegen der
selbständigen
Ladungs-
trägerbildung
in der Gas-

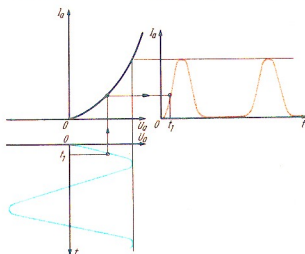


Bild 4.18. Stromverlauf
bei Gleichrichtern mit
Vakuumröhre

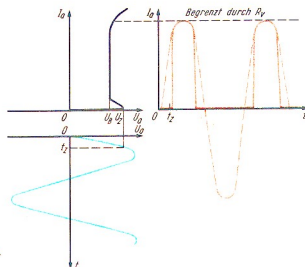


Bild 4.19. Stromverlauf
bei Gleichrichtern mit Gas-
entladungsröhre

Bauformen

Wirkungsweise

Anwendung und Betriebsverhalten

da bei Umpolung (Katode +, Anode -) keine Zündung erfolgt

füllung größere Ströme und geringere Verluste auftreten als bei Vakuumröhren

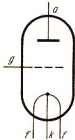


Bild 4.20. Schaltzeichen eines Thyratrons mit Glühkatode (direkte Heizung)



Bild 4.21. Thyatron mit Glühkatode

Thyatron
Zwischen großflächiger Oxidkatode und Anode befindet sich ein Steuergitter

Durch negative Spannung am Gitter werden Elektronen zur Katode zurückgedrängt, und es kann erst bei höherer Anodenspannung zur Zündung (Stoßionisation) kommen. Geringfügige Änderung der Steuergitterspannung (einige V) verändert Zündspannung um einige 100 V

Gleichrichtung von Wechselströmen, wobei durch Steuern des Zündzeitpunktes die mittlere Stromstärke verändert werden kann, z. B. für Antriebsregelung, Schweißmaschinensteuerung. Wechselrichter bzw. Umrichter, wenn Gleichstrom mit Frequenz der Zündimpulse am Gitter periodisch zerhackt wird

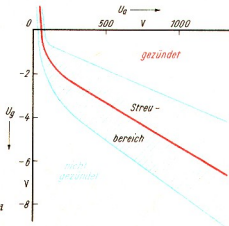


Bild 4.22. U_a - U_g -Kennlinienfeld eines Thyratrons

4.2.3. Steuerungsarten der Thyratrons

Vertikalsteuerung

Veränderbare negative Gittergleichspannung verschiebt durch Verändern der Zündspannung Stromeinsatzpunkt bis etwa zum Maximalwert der positiven Spannungshalbwelle. Strom nicht kontinuierlich auf Null steuerbar

Horizontalsteuerung

Gitterwechselspannung, deren Phasenlage gegenüber Anodenspannung verschiebbar, kann

Impulssteuerung

Positive Impulse, deren zeitliche Lage verschiebbar, können

Zündzeitpunkt über Maximalwert hinaus bis zum Phasenwinkel 180° verändern, wobei der mittlere Stromfluß bis auf Null steuerbar ist

Bild 4.23. Wirkungsweise des gesteuerten Gleichrichters mit Vertikalsteuerung

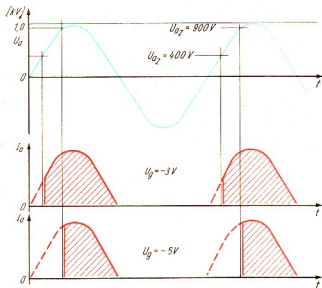
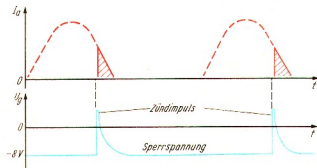


Bild 4.24. Horizontal- oder Impulssteuerung



4.3. Zusammenwirken verschiedener Gasentladungsröhren in einer Funktionseinheit

Stromversorgungsgerät

Beispiel (Bild 4.25) zeigt ein spannungsstabilisiertes Stromversorgungsgerät, welches für die Bereitschafts- und Betriebsanzeige Glühlampen, für die Zweiweg-Gleichrichtung ungesteuerte Gleichrichterdioden und zur Stabilisierung der Ausgangsspannung einen Stabilisator enthält.

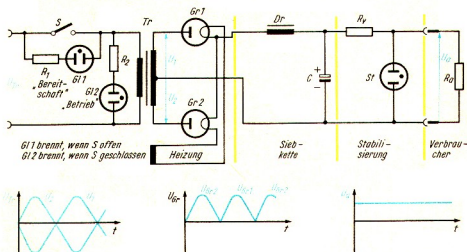


Bild 4.25. Zweiweggleichrichter mit Spannungsstabilisierung

Die dargestellte Zweiweg-Gleichrichtung wird benutzt, um beide Halbwellen der Wechselspannung auszunutzen. Der Transformator muß für die doppelte Anodenspannung ausgelegt sein, da, von der Mittelanzapfung der Wicklung gerechnet, jede der beiden Anoden die volle Spannung erhält. Als Besonderheit beginnt die Siebkette bei Gasentladungs-Gleichrichtern stets mit einer Drosselspule, da ein Kondensator am Eingang beim Einschalten einen zu großen Ladestromstoß bewirkt und die Katoden dadurch überlastet oder zerstört werden.

Anwendung in EDVA

In der digitalen Rechentechnik und bei numerischen Steuerungen werden zur dekadischen Ziffernanzeige (Ziffern 0 bis 9) Kaltkatodenzähl- und Anzeigezählröhren eingesetzt.

4.4. Kennzeichnung der Gasentladungsröhren

Anzeige- und Zählröhren mit Kaltkatode

Die Typenbezeichnung besteht aus: Buchstabe (Z), Zahl, Buchstabe (C, M oder S)

Dabei bedeuten:

Z Kaltkathodenröhre C Zählröhre

Zahl werksinterne Typenkennzeichnung M Anzeigeröhre
S Schältröhre

Kennzeichnungsbeispiel: Z 570 M
Kaltkathodenröhre
Werksinterne Typenkennzeichnung
Anzeigeröhre

Stabilisatorröhren

Kennzeichnungsbeispiel: St R 150 / 30
Stabilisatorröhre
Brennspannung U_B in V
Maximaler Querstrom $I_{q \max}$ in mA

Gleichrichterröhren und Thyratrons mit Glühkatode

Als Füllgase werden verwendet:

Kennziffer oder -buchstabe	Art des Gases
I	Argon
II	Helium
III	Wasserstoff
IV	Krypton
V	Xenon
VI	Neon
M	Mischfüllung (Edelgas und Quecksilberdampf)
ohne	Quecksilberdampf

Typenbezeichnung: G Gleichrichterröhre (ungesteuert)
S Thyatron (steuerbare Röhre)

Heizung der Katode: i indirekt, d direkt

Kennzeichnungsbeispiel: S 1,3 / 30 d M
Thyatron (steuerbar)
Maximale Anodensperrenspannung
 $\bar{U}_{A \max}$ in kV
Maximaler Katodenstrom
 $I_{k \max}$ in A
Direkt geheizte Katode
Mischgasfüllung (s. Ziffernschlüssel)

4.5. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

5. HALBLEITERBAUELEMENTE

5.1. Allgemeine Grundlagen

5.1.1. Physikalische Grundlagen

Begriffsbestimmung

Halbleiter sind Materialien, die unter Einwirkung physikalischer Größen ihre Leitfähigkeit um mehrere Zehnerpotenzen ändern. Größenordnungsmäßig ist dabei der spezifische Widerstand

für Leiter $\rho \leq 10^{-7} \Omega\text{cm}$

Nichtleiter $\rho \geq 10^{10} \Omega\text{cm}$

Halbleiter $\rho = 10^{-2} \dots 10^7 \Omega\text{cm}$

Kristallstruktur von Halbleiterwerkstoffen

In der Technik hauptsächlich chemische Elemente Germanium (Ge), Silizium (Si) und Selen (Se) als Ausgangswerkstoff für Halbleiterbauelemente:

Germanium

Ordnungszahl 32 im periodischen System der Elemente

32 positive Ladungsträger (Protonen) im Kern, durch 32 negative Ladungsträger (Elektronen), die in 4 Schalen um den Kern kreisen, nach außen elektrisch neutral.

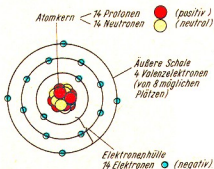


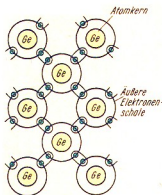
Bild 5.1. Schematisches Modell eines Siliziumatoms

Silizium

Ordnungszahl 14

14 positive und negative Ladungsträger

Chemische Wertigkeit und Vermögen, chemische Verbindungen einzugehen, werden durch Besetzung der äußeren Elektronenschale mit Elektronen bestimmt. Edelgase haben z. B. stets mit Elektronen voll besetzte äußere Schale, daher chemisch völlig inaktiv; bilden auch untereinander keine Moleküle, wie z. B. Wasserstoff (H_2) oder Sauerstoff (O_2), so



daß Edelgase immer aus einzelnen Atomen bestehen.

Germanium und Silizium haben in der äußeren Elektronenschale nur 4 statt 8 möglicher Elektronen (Valenz- oder Wertigkeitselektronen). Bei größerer Anhäufung von Ge-Atomen erfolgt zwischen den einzelnen Atomen innige Bindung dadurch, daß Valenzelektronen benachbarter Atome sich untereinander austauschen und dadurch eine mit 8 Elektronen voll besetzte äußere Schale bilden, so daß für den gesamten Atomverband ähnliche Stabilität wie bei Edelgasen entsteht. Man nennt diesen Atomverband „Kristallgitter“

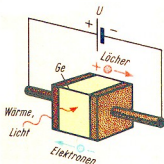
Bild 5.2. Vereinfachtes Modell der Kristallgitterbindung

5.1.2. Stromleitung in Halbleitern

Eigenleitung

Reines Germanium ist sehr schlechter Leiter, da infolge Kristallstruktur gesamtes Atomgefüge nach außen hin elektrisch neutral und durch gegenseitige Bindung der Valenzelektronen keine Ladungsträger für Stromtransport zur Verfügung stehen.

Elektronenstrom



Wärme- oder Lichteinwirkung kann vereinzelt Elektronen aus dem Atomverband herauslösen, und zwar um so mehr, je höher die Temperatur oder je größer die Lichtintensität, die auf das Germanium einwirkt.

Legt man Gleichspannung an den Ge-Kristall, so beginnen aus dem Atomverband befreite Elektronen zum positiven Pol (Anode) der angeschlossenen Spannungsquelle zu fließen.

Bild 5.3. Stromleitung in einem Germaniumkristall

Defektelektronen- oder Löcherstrom

Infolge Herauslösens von Elektronen aus dem Atomverband entstehen an deren Stellen Löcher in der gegenseitigen Gitterbindung der Atome. Diese wirken wie positive Ladungsträger, da durch Fehlen eines negativen Elektrons positive Ladung des Kerns überwiegt. Bei Anlegen einer Gleichspannung wandern Löcher zum negativen Pol (Kathode) der angeschlossenen Spannungsquelle, indem sie Elektronen von Nachbaratomen einfangen und somit wieder elektrisch neutral werden (Rekombination), bis schließlich an der Kathode

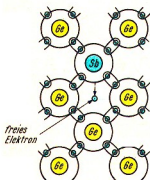
ein Loch mit einem Elektron der Spannungsquelle rekombiniert. Spezifischer Widerstand dieser Eigenleitung durch Wärme- oder Lichteinwirkung liegt bei $\rho = 10^6 \Omega \text{cm}$, ist also hoch.

Störstellenleitung

Geringe Mengen Fremdatome im Kristallverband bewirken erhebliche Verminderung des spezifischen Widerstandes (Verhältnis von Fremdatomen zu Ge-Atomen etwa $1 : 10^7$). Für gezielte Verunreinigungen des vorher gereinigten Germaniums dienen z. B.:

Antimon (Sb) mit 5 Valenzelektronen
Indium (In) mit 3 Valenzelektronen

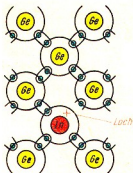
n-leitendes Germanium



Behandelt (dotiert) man reines Germanium mit einem 5wertigen Stoff (z. B. Antimon), so wird je ein Ge-Atom im Gitterverband des Kristalls durch ein Sb-Atom ersetzt. 4 der Valenzelektronen des Antimons werden dabei fest im Gitter des Ge-Kristalls gebunden, während das 5. Valenzelektron als freies Elektron (-) beim Anlegen einer Gleichspannung zur Anode (+) wandert. Die Leitfähigkeit wird dadurch gegenüber reinem Germanium wesentlich verbessert. Da die Stromleitung durch negative Ladungsträger (Elektronen) erfolgt, spricht man von n-leitendem (negativ) Germanium. Elemente, die negative Ladungsträger abgeben, heißen Donatoren.

Bild 5.4. Kristallgitter mit Antimon-Störstelle (n-Leitung)

p-leitendes Germanium



Dotiert man reines Germanium mit einem 3wertigen Stoff (z. B. Indium), so können im Gitterverband des Kristalls nur drei der 4 vorhandenen Plätze durch Valenzelektronen des Indiums besetzt werden. Der 4. Platz im Gitterverband bleibt frei, d. h., es entsteht ein Loch als positiver Ladungsträger.

Bei Anlegen einer Gleichspannung wird dieses Loch durch ein Elektron eines benachbarten Ge-Atoms ausgefüllt und wandert dadurch von Atom zu Atom bis zur Katode (-). Da die Stromleitung durch positive Ladungsträger (Löcher oder Defektelektronen) erfolgt, spricht man von p-leitendem (positiv) Germanium.

Elemente, die p-Leitung hervorrufen, heißen Akzeptoren.

Bild 5.5. Kristallgitter mit Indium-Störstelle (p-Leitung)

5.1.3. Grenz- oder Sperrschicht

pn-Übergang



Bild 5.6. Schematische Darstellung eines pn-Übergangs (Grenzschicht)

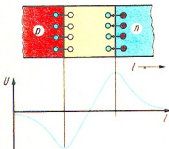


Bild 5.7. Potentialschwelle an der Grenzschicht

Stoßen p- und n-leitendes Germanium infolge besonderer technologischer Verfahren (z. B. Legieren, Verschweißen, Aufdampfen, Dotieren mit Donatoren und Akzeptoren) direkt aneinander, so bildet sich zwischen beiden Teilbereichen des Gesamtkristalls eine dünne (etwa $20\text{ }\mu\text{m}$ Dicke) Grenzschicht, in der sich räumlich begrenzt ähnliche Diffusionen (Austauschvorgänge) wie bei der Mischung von Gasen ergeben.

Während im p-Gebiet hauptsächlich Löcher als Ladungsträger vorhanden sind, treten im n-leitenden Germanium Elektronen als Majoritätsträger auf. In der Grenzschicht erfolgt durch Diffusionsvorgänge ein Austausch unterschiedlicher Ladungsträger. Die Löcher des p-Gebietes werden durch Elektronen des n-Gebietes aufgefüllt.

Dadurch entsteht an der Grenzschicht im p-Gebiet Mangel an positiven und im n-Gebiet Mangel an negativen Ladungsträgern. Es bilden sich im p-Übergangsbereich eine negative und im n-Übergangsbereich eine positive elektrische Ladung. Sie wirken als Potentialschwelle und verhindern das weitere Austauschen von Ladungsträgern über den ganzen Kristall hinweg (Sperrschicht).

Da in der Grenzschicht infolge Auffüllens der Löcher mit Elektronen nahezu keine freien Ladungsträger vorhanden, hat die Sperrschicht hohen elektrischen Widerstand.

5.1.4. Einteilung der Halbleiterbauelemente

Einteilung nach dem Halbleiterwerkstoff

Germanium

Vorteil: Herstellung bei niedrigeren Temperaturen
Nachteil: verliert bereits bei $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ die Sperrschichteigenschaften, zeigt Alterungserscheinungen

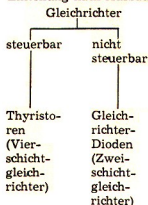
Silizium

Vorteil: höhere Sperrschichttemperatur von $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, keine Alterungserscheinung
Nachteil: technologische Schwierigkeiten bei der Herstellung von Reinstsilizium

Selen, Kupfer-I-Oxid (früher Kupferoxydul genannt)

Klassische Halbleiterwerkstoffe der Elektrotechnik, als Gleichrichter in elektronischen und Meßgeräten immer seltener verwendet.

Einteilung nach Aufbau und Verwendungszweck



Dioden

- HF- und NF
- Universaldioden
- Schaltdioden
- Zenerdioden
- Fotodioden
- Tunneldioden



3 Sperrschichten, Reihenfolge pnpn

1 Sperrschicht, pn bzw. np

2 Sperrschichten der Reihenfolge pnp oder npn

Einteilung nach dem Herstellungsverfahren

Spitzendioden und -transistoren



Aufsetzen einer Metallspitze oder zweier Metallspitzen auf einen n-leitenden Ge-Kristall. Spitzendioden nur noch für spezielle Anwendungszwecke, z. B. als Höchstfrequenz-Dioden.

Bild 5.8. Spitzendiode

Flächendioden und -transistoren



Ausbildung von flächenförmigen Sperrschichten im Innern des Kristalls oder auf der Oberfläche einer Selenschicht.

Bild 5.9. Flächendiode

Herstellung der Grenzschicht

Legierungsdioden und -transistoren



Auflegen von Indiumperlen auf Plättchen von n-leitendem Germanium. Bei etwa 500 °C erfolgt durch eindringendes Indium Umwandlung (Legierung) in p-Leitung.

Bild 5.10. Herstellung durch Legierungsverfahren

Diffusionsdioden und -transistoren

Eindiffundieren von dünnen p-leitenden Dotierungsschichten auf n-leitende Ge-Kristalle durch Einwirkung von Gasen im Vakuum.

Gaseinwirkung



Gezogene Dioden und Transistoren

Ziehprozeß



Ge-Schmelze

Kombinationsverfahren: diffundiert legierte Dioden und Transistoren

Bild 5.11. Herstellung durch Diffusionsverfahren

Ziehen eines Einkristalls aus einer Ge-Schmelze; während des Ziehprozesses nacheinander verschiedenen p- und n-leitend dotiert.

Kombinationsverfahren: diffundiert gezogene Dioden und Transistoren

Bild 5.12. Herstellung durch Ziehverfahren

Einteilung nach der Herstellungstechnologie
Mesa-Technik:

Mesadioden und Mesa-transistoren

Auf Ge- oder Si-Platte wird eine Maske mit vielen Löchern aufgelegt, durch die Fremdatome in das Halbleitermaterial diffundieren. Es entstehen pn-Bereiche für Dioden oder durch nachträgliches Einlegieren von p-leitenden Kontaktstreifen viele über die Platte verteilte pnp-Gebiete für Transistoren. Sie werden mit säurefreiem Lack abgedeckt, die Zwischenräume abgeätzt. Stehengebliebene pn- oder pnp-Gebiete haben die Form kleiner Tafelberge (spanisch: mesa) und stellen jedes für sich Diode oder Transistor dar.

Planar-Technik:

Planardioden und Planartransistoren

Siliziumbauelemente überziehen sich an der Atmosphäre mit einer Siliziumoxidschicht, die zur Bearbeitung an erforderlichen Stellen weggeätzt wird. Bauelemente haben relativ hohe Restspannung.

Epitaxial-Planar-Technik:

Epitaxial-Planar-Dioden und -Transistoren

Weiterentwicklung der Planartechnik. Man läßt epitaktisch (unter Aufrechterhaltung der Einkristallstruktur) eine hochohmige Schicht aufwachsen.

5.1.5. Kennzeichnung der Halbleiterbauelemente

2 Buchstaben und 3 Ziffern, z. B. SL 112

Bauelemente für allgemeine Anwendungszwecke

3 Buchstaben und 2 Ziffern, z. B. GAZ 16

Spezielle Bauelemente der kommerziellen Technik,

Bedeutung

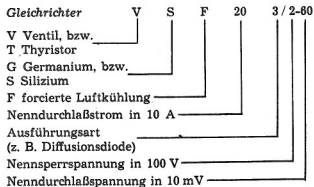
als 3. Buchstabe an die sonst übliche Bezeichnung ein Z, Y oder ein X angehängt.

1. Buchstabe: Werkstoff
2. Buchstabe: Bauelementart

G Germanium	R Halbleiterbauelement
S Silizium	mit Durchbruchkenn-
A Diode	linie für Schalt- und
C NF-Transistor	Steuerzwecke
D Leistungstransistor	S Schalttransistor
E Tunneliode	T Thyristor bis 10 A
F HF-Transistor	U Leistungsschalt-
L HF-Leistungs-	transistor
transistor	Y Gleichrichterdiode
P Strahlungsempfind-	bis 10 A
liches Bauelement	Z Zenerdiode,
(z. B. lichtempfindlich)	Referenzdiode

Bezeichnung von Halbleitergleichrichtern und Thyristoren mit Nennstromstärke > 10 A

Kennzeichnungsbeispiel:



5.1.6. Hinweise für Einbau und Verwendung

Halbleiterbauelemente sind wesentlich empfindlicher gegen elektrische, thermische und mechanische Überlastung als andere elektronische Bauelemente. Geringfügige Überschreitung der angegebenen Grenzwerte kann bereits die funktionsbestimmende Sperrschicht zerstören. Daher besondere Vorkehrungen bei Projektierung, Konstruktion, Montage und Lötung sowie bei Inbetriebnahme von Schaltungen mit Halbleiterbauelementen erforderlich.

Unbedingt vermeiden!

Elektrische Überlastung

durch Überschreiten der zulässigen Grenzwerte der Ströme und Spannungen

Thermische Überlastung

durch zu hohe Umgebungstemperatur, zu große

Erwärmung beim Löten oder bei elektrischer Überlastung bzw. nicht ausreichender Kühlung im Betrieb

Mechanische Überlastung

durch zu große Druck- oder Biegebeanspruchung beim Einbau der Bauelemente

Vom Hersteller werden entsprechende Montage- und Betriebshinweise gegeben.

5.2. Halbleitergleichrichter

5.2.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten

Verwendungszweck



Bild 5.13. Schaltzeichen einer Gleichrichterdiode

Aufbau



Bild 5.14. Schaltzeichen eines Thyristors

Bauelemente zur Umformung von Wechsel- oder Drehstrom in Gleichspannung zur Stromversorgung von Geräten und Anlagen der Elektrotechnik und Elektronik, zur Umformung in Gleichstrom für Schweißanlagen, elektrische Antriebe, elektrische Bahnen usw. oder zur Umformung von Gleichstrom in Wechselstrom.

Germanium- oder Siliziumkristalle mit einer oder drei Sperrschichten und Anschlüssen für den Einbau in elektrische Schaltungen. Je nach Größe des Durchlaßstromes und der Verlustleistung mit Löt-, Klemm- oder Schraubanschlüssen. Zur besseren Wärmeableitung auf Kühlbleche oder Kühlkörper aufgeschraubt (Kühlrippen).



Bild 5.15. Schichtaufbau einer Gleichrichterdiode

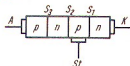


Bild 5.16. Schichtaufbau eines Thyristors

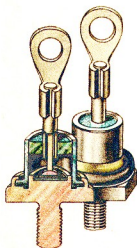


Bild 5.17. Gleichrichterdiode mit 10 A Nennstrom

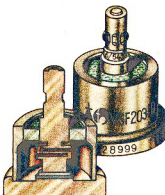


Bild 5.18. Gleichrichterdiode mit 220 A Nennstrom

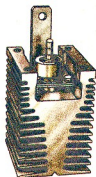
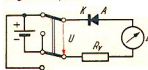


Bild 5.19. Gleichrichterdiode mit Kühlkörper

Ungesteuerte Gleichrichterdiode

Eigenschaften



Liegt an einer Zweischichtdiode Gleichspannung, so sind in Abhängigkeit von der Polarität 2 verschiedene Verhaltensweisen zu beobachten:

Bild 5.20. Ventilwirkung von Halbleiterdioden, Schaltung mit Spannungsumpolung

Sperrrichtung, Pluspol an n-Bereich, Minuspol an p-Bereich

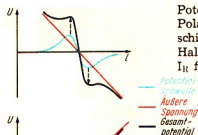


Bild 5.21. Spannung in Sperrrichtung

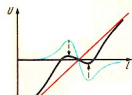


Bild 5.22. Spannung in Durchlaßrichtung

Durchlaßrichtung, Pluspol an p-Bereich, Minuspol an n-Bereich

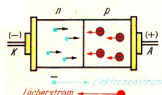


Bild 5.23. Schema des Stromflusses in Durchlaßrichtung

Von außen angelegtes Feld hebt Wirkung der Potentialschwelle der Sperrschicht auf, so daß Majoritätsträger (Elektronen des n-Bereiches und

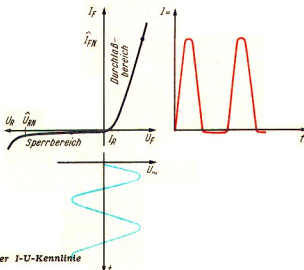


Bild 5.24. Erklärung der Gleichrichterwirkung an der I-U-Kennlinie

Löcher des p-Bereiches) nahezu ungehindert die Grenzschicht passieren können. Es fließt Durchlaßstrom I_F , der im wesentlichen nur von angelegter Spannung und Widerständen im Stromkreis abhängt.

Da Sperrstrom I_R zu Durchlaßstrom I_F etwa $1 : 10^6$, kann Sperrstrom praktisch vernachlässigt werden. Trägt man Strom durch Halbleiterdiode in Abhängigkeit von angelegter Spannung als Strom-Spannungs-Kennlinie auf, so erkennt man Ventilwirkung (Anwendung als Gleichrichter für Wechselspannungen).

Gesteuerte Halbleitergleichrichter, Thyristoren

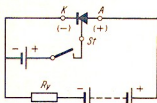


Bild 5.25. Schaltung eines Thyristors

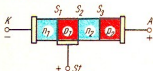


Bild 5.26. Schema der Sperrschichten

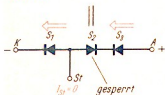


Bild 5.27. Diodendarstellung eines Thyristors (gesperrt)



Bild 5.28. Diodendarstellung eines Thyristors (gezündet)

Vierschichtdioden mit zusätzlichem Anschluß einer Steuerelektrode. Stark vereinfacht läßt sich Thyristor als Reihenschaltung von 3 Dioden darstellen. Legt man an Kathode K das Minus- und an Anode A das Pluspotential einer Gleichspannungsquelle, so sind äußere Dioden (Sperrschichten) in Durchlaßrichtung gepolt, mittlere Diode S_2 jedoch in Sperrrichtung, so daß kein Strom fließen kann. Durch Anlegen zusätzlicher, gegenüber der Kathode positiver Spannung an Steuerelektrode St fließt geringer Steuerstrom I_{St} über Diode (Sperrschicht) S_1 , wodurch genügend Ladungsträger in mittlere Sperrschicht S_2 injiziert werden, um diese leitfähig zu machen und damit den Thyristor zu „zünden“. Danach bleibt Sperrschicht S_2 stromdurchlässig, auch wenn positives Potential an Steuerelektrode abgeschaltet; zur Einschaltung des Thyristors genügen genau wie beim Thyatron kurze Steuerimpulse.

Strom-Spannungs-Kennlinie eines Thyristors bei Steuerspannung 0 zeigt die Verhaltensweise der Einzeldioden mit Sperrstrom I_{RF} und Sperrspannung U_{RF} der Diode S_2 im Durchlaßbereich der Dioden S_1 und S_3 .

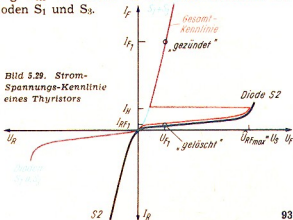


Bild 5.29. Strom-Spannungs-Kennlinie eines Thyristors

Zündung

Übergang von Sperrstrom in Durchlaßrichtung I_{RF1} zu Durchlaßstrom I_{F1} erfolgt bei Anodenspannung U_{F1} [kleiner als Grenzsperrspannung (Schaltspannung) U_S] durch Stromimpuls über die Steuerelektrode.

Löschen

Rückkehr in den Bereich des Sperrstromes erfolgt durch Reduzierung des Durchlaßstromes unter den Wert des Haltestromes I_H .

Steuerung

Die Steuerung des mittleren Gleichstromes bei der Gleichrichtung von Wechselspannungen kann vorgenommen werden, wie in den Bildern 4.23 und 4.24 beim Thyatron beschrieben.

Kenndaten von Gleichrichterdioden

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Spitzennennspannung	\hat{U}_{RN}	V
Spitzensperrspannung (periodisch)	\hat{U}_{RP}	V
Nenndurchlaßstrom	I_{FN}	A
Dauergrenzstrom	I_{FM}	A
Spitzendurchlaßstrom (periodisch)	\hat{I}_{FP}	A
Sperrstrom	I_R	A
Durchlaßwiderstand	r_F	Ω
Betriebstemperaturbereich (Sperrschichttemperatur)	θ_j	K
Gesamtverlustleistung	P_V	W
Schaltspannung	U_s	V

5.2.2. Bauformen und Verwendungszweck von Gleichrichterdioden

Bild 5.30. Halbleiter-Gleichrichter, Bauform für Nennstrom bis 0,1 A



Bild 5.32. Nennstrom bis 10,0 A

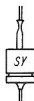


Bild 5.31. Nennstrom bis 1,0 A

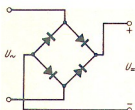


Bild 5.33. Nennstrom über 10,0 A

Abmessungen

Hängen von der Stromstärke (Verlustleistung) ab. Bei Verwendung entsprechender Kühlkörper können trotz gleicher Abmessungen höhere Ströme zugelassen werden.

Einsatz



Wie bereits bei Gasentladungsröhren erläutert, in Einweg- oder Zweiweg-Gleichrichterschaltungen (Bild 4.25). Wegen der im Vergleich zu Vakuum- und Gasentladungsröhren kleineren Abmessungen und der nicht erforderlichen Heizspannungen ist es möglich, mit 4 Dioden eine Brückenschaltung (Graetzschaltung) aufzubauen, die ohne Transformator die gleiche Wirkung erzielt wie die Zweiwegschaltung (Ausnutzung beider Halbwellen der Wechselspannung).

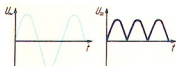


Bild 5.34. Gleichrichter-Brückenschaltung (Graetz-Schaltung)

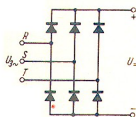


Bild 5.35. Brückenschaltung für Drehstrom



Die Drehstrom-Brückenschaltung erfordert 6 Dioden bzw. Thyristoren. Thyristoren werden als gesteuerte Gleichrichter sowie als kontaktlose Schalter, z. B. für die Erzeugung von Wechselspannung aus Gleichspannung bzw. für die Frequenzumsetzung im NF-Gebiet, eingesetzt.

Vor- und Nachteile von Halbleiterdioden gegenüber Röhrendioden

Vorteile

- Kleine Abmessungen und geringe Masse
- Keine Heizleistung erforderlich
- Große mechanische Stabilität
- Nahezu unbegrenzte Lebensdauer
- Großer Leitwert und hoher Wirkungsgrad
- Geringe Eigenkapazität, kurze Schaltzeiten

Nachteile

- Unbedingte Einhaltung der Grenzwerte erforderlich
- Zerstörung bei elektrischer, thermischer oder mechanischer Überlastung
- Keine völlige Stromunterbrechung (Sperrstrom)
- Temperaturabhängigkeit

Trotz vorhandener Nachteile setzen sich Halbleiterdioden in allen Bereichen der Elektrotechnik und Elektronik immer mehr durch, da ihre Vorteile bei weitem überwiegen.

5.3. Halbleiterdioden

5.3.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten

Verwendungszweck



Bild 5.36. Schaltzeichen einer Halbleiterdiode (allgemein)

Bauelemente der Elektronik zur Modulation und Demodulation im Hoch- und Niederfrequenzbereich, kontaktlose Schalter, zur Realisierung logischer UND- bzw. ODER-Verknüpfungen, zur Spannungsbegrenzung und -stabilisierung, als veränderliche Kapazität, als strahlungsempfindlicher Meßfühler

Aufbau

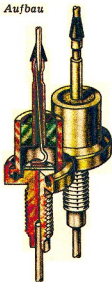


Bild 5.38. Aufbau einer Leistungs-Zenerdiode

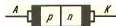


Bild 5.37. Schematischer Aufbau einer Halbleiterdiode

Germanium- oder Siliziumkristalle mit einer pn-Sperrschicht in Allglas-, Plast- oder Metall-Keramik-Ausführung mit Draht-, Steck- oder Schraubanschlüssen für den Einbau in elektronische Schaltungen.

Bild 5.39. Ansicht einer Fotodiode



Eigenschaften

Wirkungsweise entspricht derjenigen von ungesteuerten Halbleitergleichrichtern, d. h., sie beruht auf Ventilwirkung der Sperrschicht.

Kenndaten von Halbleiterdioden

Siehe Kenndaten von Gleichrichterdioden, Abschn. 5.2.1.

Zusätzlich für Spezialdioden:

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Sperrschichtkapazität	C_r	F
Dunkelstrom	I_D	A
Hellstrom	I_H	A
Schaltverzögerung	t_s	s

5.3.2. Bauformen, Wirkungsweise, Anwendung und Betriebsverhalten

Bauform

Wirkungsweise

Anwendung und Betriebsverhalten

Universaldiode

Ventilwirkung der Sperrschicht

HF- und NF-Gleichrichter-Modulations- und Demodulationszwecke

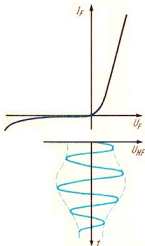


Bild 5.40. Demodulation einer amplitudenmodulierten HF-Spannung

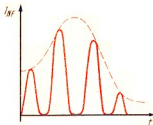
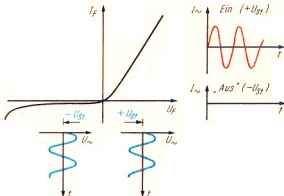


Bild 5.41. Ein- und Ausschaltung einer Wechselspannung durch Steuer-Gleichspannung U_{SF}



Schalt-Diode

Durch positive oder negative Steuergleichspannung wird der Arbeitspunkt auf der Strom-Spannungs-Kennlinie in den Durchlaß- oder Sperrbereich verschoben, so daß dadurch eine Wechselspannung ein- oder ausgeschaltet wird

Kontaktloser Schalter, insbesondere in der digitalen Rechentechnik und in logischen Verknüpfungsbausteinen, wobei der große Unterschied zwischen Sperr- und Durchlaßwiderstand ausgenutzt wird

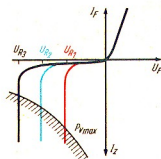
Z-(Zener)Diode



Bild 5.42. Schaltzeichen einer Z-Diode

Im Sperrbereich ergibt sich nach Überschreiten eines Grenzspannungswertes ein steiler Stromanstieg bei nahezu konstant bleibender Spannung

Spannungsstabilisierung und -begrenzung sowie zur Erzeugung von Vergleichsspannungen, wobei durch Vorwiderstand der Strom begrenzt, damit die maximale Verlustleistung $P_{V \max} = I_Z \cdot U_Z$ nicht überschritten wird



Kapazitätsdiode

Fotodiode



Bild 5.45. Schaltzeichen einer Fotodiode



Bild 5.46. Universal-, Schalt-, Kapazitäts- und Z-Dioden in Allglasausführung



Bild 5.47. Fotodioden in Allglasausführung



Bild 5.48. Spitzendiode in Metall-Keramik-Patrone

Bild 5.43. Strom-Spannungs-Kennlinien einer Typenreihe von Z-Dioden

Bei Betrieb in Sperrrichtung ergibt sich eine von der Größe der Sperrspannung abhängige Kapazität

Ausnutzung des fotoelektrischen Effekts. Durch Strahleneinwirkung im sichtbaren und infraroten (unsichtbaren) Spektralbereich werden im Halbleiterkristall zusätzliche Löcher- und Elektronenpaare gebildet, die bei Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung einen von der Beleuchtungsstärke abhängigen Sperrstrom fließen lassen



Bild 5.49. Schottdiode in Allglasausführung



Bild 5.44. Schaltzeichen einer Kapazitätsdiode

Automatische Scharfabstimmung von Schwingkreisen im VHF- und UHF-Gebiet. Geringe Verluste durch hohen Sperrwiderstand

Fotoelektrische Wandler der BMSR-Technik, z. B. Drehzahlmesser, Lichtschranken, elektronische Zählgeräte, sowie in der Strahlungsmeßtechnik, z. B. für Messung von Glühtemperaturen und Beleuchtungsstärken. Bei Dimensionierung von Schaltungen ist der auch ohne Lichteinfall fließende, temperaturabhängige Restsperrstrom I_D (Dunkelstrom) zu berücksichtigen

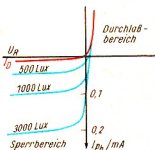
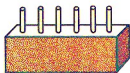


Bild 5.50. Strom-Spannungs-Kennlinie einer Fotodiode in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke



blau: gem. Kathode
rot: gem. Anode
Fotoelement

Bild 5.51. Schottdiodenbaustein
in Keramikgehäuse
(z. B. ODER-GATTER)



Bild 5.52. Universal-
diodenquartett in
Kunstharz vergossen
(z. B. für Brücken- und
Modulatorschaltungen)

Wird eine Fotodiode
ohne Hilfsspannung
betrieben, so gibt sie
bei Leerlauf eine
Spannung bis zu
0,5 V ab

Meßzwecke wie oben.
Sonderausführungen als
Sonnenbatterien

5.4. Transistoren

5.4.1. Begriffsbestimmung und wichtigste Kenndaten

Verwendungszweck



Bild 5.53. Schaltzeichen
eines Transistors, pnp-Typ und
nnp-Typ

Aktive Halbleiterbauelemente zur Verstärkung
von Gleich- und Wechselspannungen in allen tech-
nisch genutzten Frequenzbereichen, Schwingungs-
erzeugung und kontaktloses Schalten von Gleich-
und Wechselspannungen in der Digitaltechnik und
in numerischen Steuerungen und Regelungen.

Aufbau

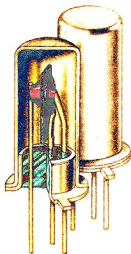


Bild 5.56 Aufbau eines NF-
und Schalttransistors

Germanium- oder Siliziumkristalle mit zwei
Sperrschichten. Folge der Zonen an den Grenz-
schichten p-n-p oder n-p-n (pnp-Transistor oder
nnp-Transistor); mittlere Schicht sehr dünn
(10...50 μm) gehalten. Nach Herstellungsverfahren
und angewandeter Technologie unterscheidet man:
Transistoren mit lateraler Zonenfolge, die daher
zweiseitige Anschlüsse haben, z. B. gezogene oder
legierte Transistoren.



Bild 5.54. Schematische
Darstellung der Sperrschichten
eines Transistors, pnp-Typ



Bild 5.55. npn-Typ

Transistoren mit transversaler Zonenfolge, die daher die Anschlüsse auf einer Seite haben, z. B. Mesa-Technik.

Für den Einbau in elektronische Schaltungen Drahtanschlüsse. Schutz gegen äußere Störeinflüsse bzw. mechanische Beschädigung durch Einbau der Kristalle in Metall- oder Plastikgehäuse.



Bild 5.59. Aufbau eines Mini-Plast-Si-Transistors

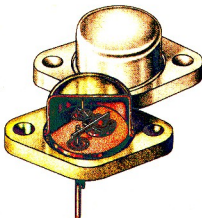


Bild 5.57. Aufbau eines Leistungs-transistors

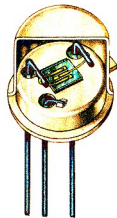


Bild 5.58. Aufbau eines HF-Mesatransistors

Eigenschaften

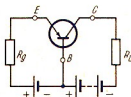


Bild 5.60. Prinzipschaltung eines pnp-Transistors

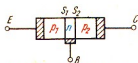


Bild 5.61. Schematischer Aufbau der Sperrschichten



Einen pnp-Transistor mit den Sperrschichten S_1 und S_2 kann man sich aus zwei gegeneinandergeschalteten Dioden aufgebaut denken. Diode S_1 in Durchlaßrichtung und Diode S_2 in Sperrichtung an je eine Spannungsquelle angeschlossen (wobei U_1 wesentlich kleiner als U_2). Da mittlere Basisschicht nur sehr dünn, werden die durch den Strom der in Durchlaßrichtung gepolten Dioden S_1 injizierten positiven Ladungsträger (Löcher) nur zu einem geringen Teil über den mittleren Basisanschluß B abgeleitet. Der größte Teil der Löcher gelangt zur Sperrschicht der Diode S_2 , wodurch deren Potentialschwelle abgebaut wird und der Löcherstrom (+) auch über die in Sperrichtung angeschlossene Diode S_2 weiter zum negativen Pol der Spannungsquelle U_2 fließen kann.

Bild 5.62. Dioden-Ersatzschaltbild des pnp-Transistors

Bezeichnung der Elektroden, Ströme und Spannungen

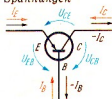


Bild 5.63. Ströme und Spannungen am Transistor

Verstärkerwirkung

$$V_i = \frac{-I_C}{I_E} = 0,95 \dots 0,99$$

$$\Delta U_{CB} = \Delta I_C \cdot R_L \gg \Delta U_{EB}$$

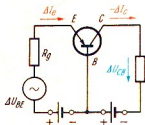


Bild 5.64. Transistor als Wechselspannungsverstärker

Entsprechend der Wirkungsweise bezeichnet man die

1. Elektrode als Emitter E (lat. aussenden)
2. Elektrode als Basis B (lat. Grundlage)
3. Elektrode als Kollektor C (lat. sammeln)

Entsprechende Ströme heißen:

Emitterstrom I_E

Basisstrom I_B

Kollektorstrom I_C

Positive Stromrichtung wurde stets zum Kristall hin festgelegt. Da die tatsächliche Stromrichtung des Basis- und Kollektorstromes entgegengesetzt verläuft, wird bei Berechnungen ein Minuszeichen gesetzt ($-I_B$, $-I_C$). Nach dem 1. Kirchhoffschen Gesetz gilt

$$I_E + I_B + I_C = 0.$$

Spannungen sind positiv festgelegt für Richtungen U_{EB} , U_{CB} und U_{CE} .

Steuerwirkung des Transistors ergibt sich durch Abhängigkeit des Kollektorstromes I_C vom Emitterstrom I_E bei angeschlossenem Basispotential. Da Basisstrom nur sehr klein, wird I_C nur wenig geringer als I_E sein.

Stromverstärkung des Transistors

V_i Stromverstärkung

I_C Kollektorstrom

I_E Emitterstrom

(Spitzentransistoren $V_i > 1$)

Verstärkung beim Flächentransistor erklärt sich unter Berücksichtigung der Widerstandsverhältnisse im Emitter- und im Kollektorkreis. Stromänderungen ΔI_E und ΔI_C infolge einer geringen Spannungsänderung ΔU_{EB} sind nahezu gleich groß. Da jedoch Widerstand $R_L \gg R_E$ ist, wird

ΔU_{CB} Differenz der Kollektor-Spannungs-Höchstwerte

ΔI_C Differenz der Kollektorströme

R_L Widerstand

ΔU_{EB} Differenz der Emitter-Spannungs-Höchstwerte

Es ergibt sich eine Spannungs- und Leistungsverstärkung.

Unterbricht man die Basiszuleitung, geht der Emitterstrom I_E gegen Null und damit auch der Kollektorstrom I_C bis auf einen kleinen Reststrom I_{CE0} . Bei Unterbrechung der Emittierzuleitung fließt Reststrom I_{CB0} (Sperrstrom der Diode S_2).

Kenndaten von Transistoren

Bezeichnung

Formelzeichen

Einheit

Höchstwerte der Spannungen
Höchstwerte der Ströme
Restströme
Vierpolparameter bzw. h-Parameter (siehe Abschn. 5.4.2.)
Leistungsverstärkung
Grenzfrequenz
Speicherzeit

U_{EB}, U_{CB} V
 I_B, I_C A
 I_{EBO}, I_{CBO} A
— —
 V_P —
 f_T Hz
 t_{sp} s

5.4.2. Grundsaltungsarten und Berechnungsgrundlagen

Grundsaltungen werden bezeichnet nach der jeweils für die Ein- und Ausgangsspannung gemeinsame Bezugselektrode.

Eigenschaften der Grundsaltungen

Eingangswiderstand Z_e
Ausgangswiderstand Z_n
Stromverstärkung h_{21}
Spannungsverstärkung V_u
Leistungsverstärkung V_P
Grenzfrequenz f_{H21}

Emitter-schaltung

mittel
groß
groß
groß
groß
niedrig

Basis-schaltung

klein
groß
 < 1
groß
mittel
hoch

Kollektor-schaltung

groß
klein
groß
 < 1
mittel
niedrig

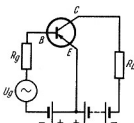


Bild 5.65. Emitterschaltung

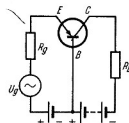


Bild 5.66. Basisschaltung

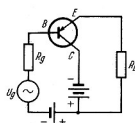


Bild 5.67. Kollektor-schaltung

Anwendung

universell für
NF- und HF-
Verstärker und
Oszillatoren

HF-Spannungs-
verstärker
und Oszilla-
toren

Stromverstärker
und Impedanz-
wandler (nieder-
riger Ausgangs-
widerstand)

Zahlenbeispiele für Widerstandswerte und Verstärkungen

Widerstand klein etwa 50 Ω , mittel etwa 1 k Ω , groß > 10 k Ω

Verstärkung < 1 etwa 0,95...0,99, groß etwa 20...100

Ermittlung der Kennwerte eines Transistors

Festlegung der Kennwerte erfolgt durch Angabe technischer Parameter oder durch Diagramme. Im Gegensatz zu Dioden ist nicht nur eine Strom-Spannungs-Kennlinie zur eindeutigen Beschreibung ausreichend, sondern es müssen entsprechend den 4 charakteristischen h-Parametern 4 Diagramme angegeben werden.

Für die Aufnahme der Kennlinien wird der Transistor in eine Meßschaltung eingesetzt, die es möglich macht, verschiedene Ströme und Spannungen einzustellen, z. B. mit Hilfe von Potentiometern.

Es werden folgende Diagramme nacheinander gemessen:

Bild 5.68. Schaltung zur Aufnahme der Transistorkennlinien

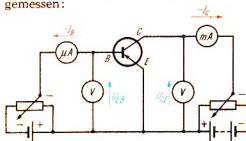
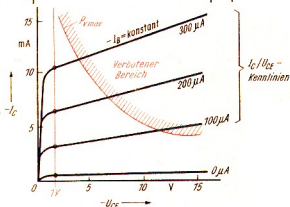


Bild 5.69. Ausgangskennlinienfeld eines Transistors

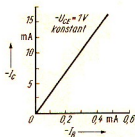


Ausgangskennlinienfeld (1)

Kollektorstrom $-I_C$ in Abhängigkeit von der Kollektor-Emitter-Spannung $-U_{CE}$ für jeweils konstanten Basisstrom $-I_B$. Nach der Aufnahme einer $\frac{I_C}{U_{CE}}$ -Kennlinie für z. B. $-I_B = 100 \mu A$ wird der Basisstrom auf $200 \mu A$ eingestellt und durch Verändern von U_{CE} und Messen von $-I_C$ die nächste $\frac{I_C}{U_{CE}}$ -Kennlinie gemessen.

Stromübertragungskennlinie (2)

Kollektorstrom $-I_C$ in Abhängigkeit vom Basisstrom $-I_B$ bei konstanter Emitterspannung $-U_{CE}$ (meist nur für $-U_{CE} = 1 V$). Diese Kennlinie kann



auch aus dem Kennlinienfeld (1) durch Ablesen der Werte von $-I_C$ für die einzelnen Kennlinien von $-I_B = \text{konst.}$ bei der senkrecht eingetragenen Linie $-U_{CE} = 1 \text{ V}$ erhalten werden.

Bild 5.70. Stromverstärkungskennlinie des Transistors

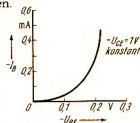
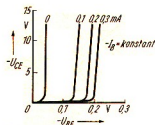


Bild 5.71. Eingangskennlinie eines Transistors

Eingangskennlinie (3)

Spannungs-Rückwirkungs-Kennlinienfeld (4)



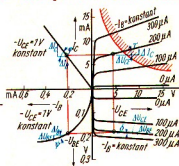
Basisstrom $-I_B$ in Abhängigkeit von der Spannung $-U_{BE}$ für $-U_{CE} = 1 \text{ V}$ konst. Hierbei ergibt sich die Kennlinie einer Diode im Durchlaßbereich.

Abhängigkeit der Ausgangsspannung $-U_{CE}$ von der Eingangsspannung $-U_{BE}$ bei Basisstrom $-I_B = \text{konst.}$, wobei die Messung ähnlich wie unter Diagramm (1) erfolgen kann. Vielfach wird auf diese Kennlinien verzichtet, da sie auch aus den anderen drei ermittelt werden können.

Einzelkennlinien (1) bis (4) können in den 4 Quadranten eines gemeinsamen Kennlinienfeldes dargestellt werden. Aus diesem Kennlinienfeld sind die Vierpol- bzw. h-Parameter als Neigung der Kennlinien im festen Arbeitspunkt zu entnehmen.

Bild 5.72. Spannungs-Rückwirkungs-Kennlinienfeld eines Transistors

Bild 5.73. Vierquadranten-Kennlinienfeld eines Transistors



Beziehungen der Parameter

Bezeichnung

Eingangswiderstand,
Ausgang kurzgeschlossen

Spannungsrückwirkung,
Eingang offen

Stromverstärkung,
Ausgang kurzgeschlossen

Formelzeichen

Berechnung

Bemerkung Einheit

h_{11e}	$= \frac{u_1}{i_1} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \triangleq \tan \psi$	$u_2 = 0$	Ω
h_{12e}	$= \frac{u_1}{u_2} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \triangleq \tan \delta$	$i_1 = 0$	—
h_{21e}	$= \frac{i_2}{i_1} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \triangleq \tan \varphi$	$u_2 = 0$	—

**Ausgangsleitwert,
Eingang offen**

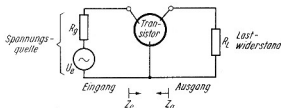
$$h_{22o} = \frac{i_2}{u_2} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \cong \tan \tau \quad i_1 = 0 \quad S$$

Index e deutet an, daß die Parameter für die Emitterschaltung gemessen wurden.

Gleiche Untersuchungen sind auch für die Basischaltung (Index b) und die Kollektorschaltung (Index c) möglich. h-Parameter der einen Grundschaltung können auch in die der beiden anderen umgerechnet werden.

Mit Hilfe der vom Hersteller für die einzelnen Transistortypen gegebenen h-Parameter lassen sich die wichtigsten Betriebsgrößen eines Transistorverstärkers berechnen.

**Bild 5.74. Vierpoldarstellung
eines Transistors**



Stromverstärkung

$$V_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22} \cdot R_L}$$

Spannungsverstärkung

$$V_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-h_{21} \cdot R_L}{h_{11} + R_L \cdot \Delta h}$$

Leistungsverstärkung

$$V_P = \frac{h_{21} \cdot R_L}{(1 + h_{22} R_L) (h_{11} + R_L \Delta h)}$$

Eingangswiderstand

$$Z_e = \frac{u_1}{i_1} = \frac{h_{11} + R_L \cdot \Delta h}{1 + R_L \cdot h_{22}}$$

Ausgangswiderstand

$$Z_a = \frac{u_2}{i_2} = \frac{h_{11} + R_g}{\Delta h + R_g \cdot h_{22}}$$

$$\Delta h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21}$$

R_g äußerer Widerstand im Eingangskreis

R_L Lastwiderstand im Ausgangskreis

Diese Gleichungen gelten für alle 3 Grundschaltungen, wenn die h-Parameter der jeweiligen Grundschaltung eingesetzt werden.

5.4.3. Einsatzgebiete von Transistoren



Bild 5.75. NF- und HF- sowie Schalttransistoren (Germanium)



Bild 5.76. Transistor für mittlere Leistungen (Silizium)

Bild 5.76. Leistungs- und Leistungsschalt-Transistoren (Germanium)



Bild 5.77. Transistor für große Leistungen (Silizium)

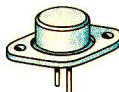


Bild 5.78. Kunststoffverkappte Mini-Plast-Transistoren (Silizium)



Verstärker

Wirkungsweise

Unmittelbare Nutzung der Verstärkereigenschaften für Gleichstrom, NF- oder HF-Bereiche

Einsatzgebiete

Kommerzielle und Unterhaltungselektronik

Oszillatoren

Mittelbare Nutzung der Verstärkung zur Schwingungserzeugung durch Rückkopplungsschaltungen

Funktionsgeneratoren, Sinus- und Rechteckwellengeneratoren

Mischstufen

Nutzung der Nichtlinearität der Transistorkennlinie zur Überlagerung, Mischung und Vervielfachung von Frequenzen

Modulation und Demodulation in der Nachrichtentechnik

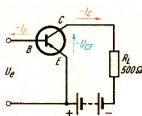
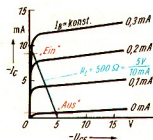


Bild 5.80. Transistor als Schalter, Prinzipschaltbild

Bild 5.81. Ausgangskennlinienfeld mit eingetragenen Arbeitspunkten



Kontaktlose Schalter

Unter Verzicht auf stetige Steuerbarkeit wird der Kollektorstrom auf einen Maximalwert ein- bzw. (bis auf den geringen Reststrom) ausgeschaltet, wie aus der Verschiebung im $\frac{I_C}{U_{CE}}$ -Kennlinienfeld ersichtlich

Schneller Schalter in elektronischen Steuerungen und EDVA

5.5. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

6. ZUSAMMENWIRKEN ELEKTRONISCHER BAUELEMENTE IN FUNKTIONSEINHEITEN

6.1. Gleichspannungsregler

Die Spannung eines Gleichrichters ist Schwankungen unterworfen, die auf Netzspannungsschwankungen, Belastungsänderungen oder Kennwertänderungen von Bauelementen zurückzuführen sind. Für die Stromversorgung von elektronischen Geräten ist es jedoch häufig erforderlich, eine möglichst konstante Spannung zu verwenden.

Im Beispiel wird dafür eine Zenerdiode verwendet, die eine von der nichtstabilisierten Eingangsspannung U_e nahezu unabhängige Vergleichsspannung U_z liefert. Die eigentliche Spannungsregelung erfolgt durch die Transistoren T_1 und T_2 .

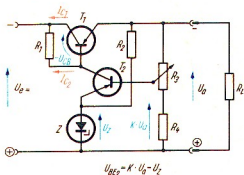


Bild 6.1. Gleichspannungsregler mit Z-Diode und Transistoren (nach H. Lennartz; W. Taeger)

Am Transistor T_2 liegen die Vergleichsspannung U_z und ein entsprechend der Potentiometereinstellung R_3 gewählter Anteil k der Ausgangsspannung U_a ($k \cdot U_a$). Der fließende Kollektorstrom I_{C2} ergibt am Widerstand R_1 einen Spannungsabfall U_{CB1} , dessen Größe den Wert des Innenwiderstandes R_{CE} des Transistors T_1 bestimmt. Sinkt die Eingangsspannung U_e , so vermindert sich der Transistorwiderstand R_{CE} von T_1 . Steigt U_e , so sinkt R_{CE} von T_1 , so daß die Ausgangsspannung U_a immer nahezu konstant bleibt.

Die gleiche Stabilisierungswirkung ergibt sich auch, wenn sich die Belastung (Größe des Außenwiderstandes R_L) ändert, zum Beispiel durch Bereichsumschaltung des angeschlossenen elektronischen Meßgerätes (R_L).

6.2. Elektronische Lichtschranke

Ein Anwendungsbeispiel zeigt die Rolltreppensteuerung (Bild 3.29). Darüber hinaus ergeben sich Verwendungsmöglichkeiten in der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie in Zähschaltungen als fotoelektrischer Wandler.

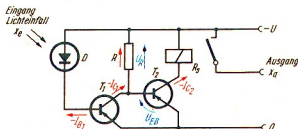


Bild 6.2
Elektronische Lichtschranke

Solange kein Licht auf die Fotodiode D fällt, ist der Transistor T_1 gesperrt. T_2 führt Strom, so daß das Relais R_s angezogen ist. Bei Lichteinwirkung vermindert sich der Innenwiderstand der Fotodiode. Ein Basisstrom $-I_{B1}$ kann fließen, der einen Kollektorstrom I_{C1} über den Widerstand R zur Folge hat. Durch den entstehenden Spannungsabfall $U_R = R \cdot I_{C1}$ vermindert sich die Spannung U_{EB} so stark, daß der Kollektorstrom I_{C2} ebenfalls stark absinkt und dadurch das Relais R_s abfällt. Bei dieser Anordnung der Transistoren T_1 und T_2 handelt es sich um einen einfachen Gleichstromverstärker mit Relais als zusätzlichen Ausgangsverstärker, wobei mit Hilfe der Relaiskontakte weitere Schaltungen durchgeführt werden können.

6.3. Periodischer Blinkerschalter

Es handelt sich um eine einfache Multivibratorschaltung. Durch die Verwendung von zwei Komplementärtransistoren (T_1 npn und T_2 pnp) ergibt sich ein Wirkungsgrad bis zu 0,98. In der Impulspause sind beide Transistoren gesperrt. Der Kondensator C lädt sich über Lastwiderstand R_L und R_1 sowie R_2 auf, bis die Schwellspannung $-U_{EB}$ von T_1 erreicht

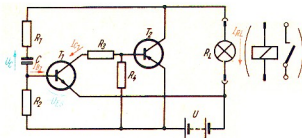


Bild 6.3. Multivibrator als Blinkerschalter
(nach H. Lennartz; W. Taeger)

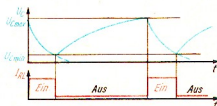


Bild 6.4. Kennlinien

ist. Ein geringer Basisstrom I_{B1} beginnt zu fließen, der verstärkt als Kollektorstrom $-I_{C1}$ zur Basis von T_2 fließt. Transistor T_2 beginnt ebenfalls Strom zu ziehen, wodurch sich an R_1 ein Spannungsabfall ergibt, der über R_1 und C auf die Basis von T_1 zurückwirkt, so daß durch diese Rückkopplung der Strom plötzlich stark ansteigt. Dabei entlädt sich Kondensator C nach einer e-Funktion über R_1 und T_1 so weit, bis der erforderliche Basisstrom I_{B1} nicht mehr aufgebracht wird und beide Transistoren wieder gesperrt werden. Der Multivibrator schaltet sich also selbsttätig mit Zeitkonstanten, die hauptsächlich durch

$$\tau_1 = R_1 \cdot C \text{ und } \tau_2 = (R_1 + R_2) \cdot C$$

bestimmt werden, periodisch ein und aus.

Anstelle der Glühlampe (z. B. einer Reklamebeleuchtung) kann auch ein Relais als Signalausgang verwendet werden.

6.4. Gegentakt-NF-Verstärker

Die Gegentaktschaltung als NF-Leistungsverstärker, z. B. in Rundfunkempfängern, wird angewendet, um eine höhere Ausgangsleistung bei gleichzeitiger Verbesserung des Wirkungsgrades zu erzielen. Im dargestellten Beispiel erfolgt eine Temperatur-Spannungs-Kompensation mit Hilfe einer Halbleiterdiode. Das ist erforderlich, da die Kennwerte von Transistoren stark temperaturabhängig

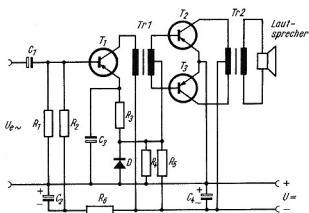


Bild 6.5. Gegentaktendstufe mit Diodenstabilisierung

sind und daher die Arbeitspunkte sich bei Änderung der Umgebungstemperatur verschieben würden.

Eine andere Möglichkeit zur Stabilisierung besteht in der Verwendung temperaturabhängiger Widerstände (Thermistoren), die bezüglich ihres Temperaturkoeffizienten so ausgewählt werden, daß sie die Temperaturabhängigkeit der Transistoren kompensieren. Nachteil der Gegentaktschaltung ist der höhere Klirrfaktor im Vergleich zur Eintakt-Endstufe.

6.5. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

7. ENTWICKLUNGSTENDENZEN DER ELEKTRONIK

Bedürfnisse der Elektronik-Anwender

Elektronische Geräte und Anlagen werden bereits in allen Bereichen der Wissenschaften sowie in Technik und Ökonomie eingesetzt. Obwohl die Anwendungsgebiete, z. B. in der Raumfahrt, in der Wirtschaftsplanung und in der chemischen Industrie, sich wesentlich voneinander unterscheiden, zeigen sich in den Forderungen an die Elektronik viele Gemeinsamkeiten.

In allen Bereichen wächst, unterstützt durch die Einführung der Elektronik, das Bedürfnis, mehr Information in kürzerer Zeit erfassen, verarbeiten und auswerten zu können, damit die Sicherheit der Arbeit im jeweiligen Bereich auf Grund genauerer und vielseitiger Messungen und exakterer Vorhersagen erhöht werden kann. Damit ist die Forderung verbunden, daß elektronische Anlagen während des Betriebes nicht ausfallen.

Forderungen an elektronische Geräte und Anlagen

- so universell wie möglich einsetzbar (z. B. Funktionseinheiten und elektronische Datenverarbeitungsanlagen)
- so klein und so leicht wie möglich, um möglichst viele Funktionseinheiten auf beschränktem Raum unterbringen zu können (z. B. Raum- und Luftfahrt, Medizin und Biologie)
- so schnell wie möglich die erforderlichen Operationen ausführen (z. B. Informations-Erfassung, -Übertragung und -Verarbeitung)
- so zuverlässig wie möglich in allen Bereichen

Zuverlässigkeit

Nichtausfall-Wahrscheinlichkeit eines Gerätes, die mit Hilfe mathematisch statistischer Methoden anhand der Ausfall-Wahrscheinlichkeit einzelner Bauelemente berechnet werden kann. Die Zuverlässigkeit der einzelnen Bauelemente muß um so größer sein, je mehr Bauelemente in einem Gerät vorhanden sind.

Der Bedarf an elektronischen Geräten steigt ständig. Das bedeutet, daß völlig neue Wege beschritten werden müssen, um diesen Bedarf decken zu können. Eine Möglichkeit ergibt sich durch das komplexe Zusammenwirken einer Anzahl von Teillösungen auf den verschiedensten Gebieten. Hierzu gehören:

- Erhöhen des Automatisierungsgrades der Produktion durch Einsatz der EDV für die Produktionsvorbereitung (Entwicklung, Konstruktion und Technologie), Fertigung und Endkontrolle
- Schaffen von einheitlichen Systemlösungen, um mit Hilfe weitgehender Standardisierung und zentraler Fertigung von Wiederholteilen und Baugruppen zu wirtschaftlichen Losgrößen zu kommen

URSAMAT

Universelles System von Geräten und Einrichtungen zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung und Nutzung von Informationen für die Automatisierung technologischer Prozesse

ESEG

Einheitssystem der Elektronik und des Gerätebaus

EGS

Einheitliches Gefäß-System

- weiterer Übergang zur Mikroelektronik und zur Anwendung modernster Fertigungstechnologien

Etappen der Miniaturisierung in der Elektronik

Wesentlich für die Weiterentwicklung der Elektronik ist die weitere Verkleinerung der Bauelemente und Funktionseinheiten. Diese Entwicklung ist seit den Anfängen elektronischer Geräte, die mit Vakuumröhren bestückt waren, zu erkennen. Ein wesentlicher Schritt vollzog sich durch die Erfindung des Transistors.

Modultechnik

Übliche elektronische Bauelemente auf Keramik- oder Hartpapierkarten gesetzt und durch Leiterbahnen (gedruckte Schaltungen) elektrisch miteinander verbunden;

Bauteildichte: 0,5 Bauelemente je cm^2 .

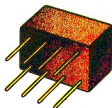


Bild 7.1. Miniaturelektronik.
KME 1-Baustein (VEB Keramische Werke Hermsdorf)

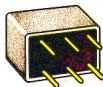
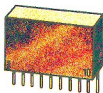


Bild 7.2. Kompaktbaustein
(VEB Funkwerk Dresden)

1 cm

Mikromodultechnik

Mikroelektronik, Integrierte Schaltkreise (Bausteine nicht einzeln austauschbar)



1 cm

Bild 7.3. KME 3-Baustein in Dünnschichttechnik (VEB Keramische Werke Hermsdorf)

Spezielle Miniaturbausteine auf kleine Isolierstoff-(Keramik)Plättchen gelötet; einzelne Plättchen übereinandergeschichtet und am Rande verlötet und vergossen;

Bauteildichte: 10 Bauelemente je cm^2 .

Dünnschicht- und Dickschichttechnik

Als Träger Keramik- oder dünne Glasplättchen. Bauteile in Form dünner Filme durch Bedampfen, Bestäuben oder galvanisch (Dünnschichttechnik) oder im Siebdruckverfahren (Dickschichttechnik) aufgebracht, Leiterbahnen aus Gold oder Aluminium im Vakuum aufgedampft;

Bauteildichte: 200 Bauelemente je cm^2 .

Halbleiterblocktechnik

Aufbau ganzer Funktionseinheiten aus aktiven (Transistoren) und passiven (Widerstände, Kondensatoren, Dioden) Bauelementen in einem kleinen Halbleiterblock. Erzeugung der einzelnen Bauelemente in Block der Größe $3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 0,1\text{ mm}$ durch Diffusion, Legierung sowie Planar- und Epitaxie-Technik;

Bauteildichte: 1000 Bauelemente je cm^2 .

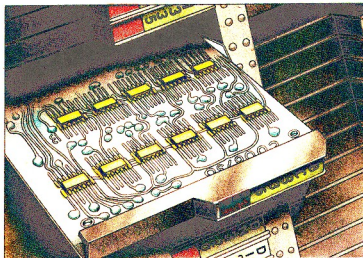


Bild 7.4. Integrierte Schaltkreise der Halbleiterblocktechnik in μ -PAC-Bausteinen (Firma Honeywell)

Entwicklungsarbeiten zur Fortsetzung der Miniaturisierung, wobei in kleinsten Halbleiterblöcken durch Aufdampfen im Vakuum und Anwendung ionisierter Gasstrahlen in elektrischen und magnetischen Feldern ganze Schaltungen mit nicht mehr unterscheidbaren Schaltungsteilen entstehen;

Bauteildichte (geschätzt):

50 000 Bauelemente je cm^3 .

Ein wesentliches Problem der Miniaturisierung ist die auftretende Wärmekonzentration. Die hypothetischen Bauteildichten der Molekularelektronik lassen sich daher nur erreichen, wenn gleichzeitig eine entsprechende Reduzierung der Stromwärme-Entwicklung durch Reduzierung der Verlustleistungen erreicht wird.

8. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

SACHWÖRTERVERZEICHNIS

- Abfallverzögerung 61
- Abfallzeiten 62
- Abkühlungszeit-
 - Konstante 52
- Alterungserscheinung 87
- Akzeptoren 86 f.
- Amperewindungszahl 47
- Ankerflattern 62
- Ankermasse 62
- Anlaßwiderstand 53
- Anodenspannung 72, 76, 78 ff., 94
 - Sperrspannung 73, 81
 - Strom 72
 - Zündspannung 76
- Anschlüsse
 - Löt- 57
 - Schraub- 57
 - Steck- 57
- Ansprechstrom 53
- Antimon-Störstelle 86
- Antriebsregelung 13, 78
- Antriebssteuerung 13
- Anzeigeröhren 70, 73 ff., 80 f.
 - Kaltkathoden- 80
- Anzugsverzögerung 61
 - Zeiten 62
- Arbeitskontakte 60
- Arbeitspunkteinstellung 54
- Arbeitsstromkreis 60
- Argon 81
- Ausgangsgrößen 60
- Ausgangskennlinienfeld 103, 106
- Ausgangskreis
 - Lastwiderstand 105
- Ausgangsleistung 111
- Ausgangsleitwert 105
- Ausgangsspannung 80, 102, 104, 109
- Ausgangsverstärker 110
- Ausgangswiderstand 102, 105
- Auslieferungstoleranz 21 ff.
- Außenwiderstand 110
- Automatisierungsgrad 116
- Bandfilter 44
- Basispotential 101
 - Schaltung 102, 105
 - Schicht 100
- Strom 101, 103 f., 110 f.
 - Zuleitung 101
- Bauelemente-Industrie 13
- Bausteine
 - analoge 14
 - digitale 14
- Belastbarkeit 52
- Belastungsänderungen 109
- Beleuchtungsstärke 98
- Bereichsumschaltung 110
- Betriebsdauerspannung 16
- Betriebsfrequenz
 - kleinerwerdende 45
- Betriebsmeßtechnik 13
- Betriebssicherheit 35
- Betriebstemperatur 52
- Betriebstemperaturbereich 28, 94
- Bezugselektrode 102
- Bimetallstreifen 64
- Bindungselektronen 51
- Black-box 60
- Blechpakete 47
 - lamellierte 48
- Blechpaketkern 45
- Blinkerschalter 111
- Blindvorschaltwiderstand 45
- Blindwiderstand 27 f., 42
- BMSR-Technik 12 f., 61, 76, 98
- Bogenentladung 67, 69, 72 f.
- Borkohle 17
- Borkohlewiderstände 20
- Brennspannung 71 ff., 75 f., 81
- Brummen 62
- Brückenschaltung 95
 - Drehstrom- 95
- Chromnickeldraht 20
- Dämpfungänderung 19
- Dämpfungswiderstände 54
- Datenverarbeitung 13
- Dauergrenzstrom 94
- Defektelektronen 85
- Dekadenzählröhren 73
- Demodulation 96 f., 106
- Demodulatoren 14
- Diagramme
 - Spannung-Zeit- 65
 - Strom-Zeit- 65
- Dickfilmentechnik 117
- Dielektrikum 27, 29 ff.
 - Trolitul- 37
 - Werkstoffe 29 f.
- Dielektrizitätskonstante 31
- Differenzspannung 71
- Diffundieren 88
- Diffusionen 87
- Diffusionsverfahren 89
- Digitaltechnik 99
- Dioden
 - Allglasausführung 98
 - Bausteine 98 f.
 - Diffusions- 88, 90
 - Einzel- 93
 - Epitaxial- 89
 - Foto- 88, 96, 98, 110
 - gezogene 89
 - Gleichrichter- 88, 90 f., 94
 - Halbleiter- 92 f., 96
 - Höchstfrequenz- 88
 - Kapazitäts- 98
 - Legierungs- 88
 - Mesa- 89
 - Planar- 89
 - Quartett 98
 - Referenz- 90
 - Schalt- 88, 97 f.
 - Spitzen- 88, 98
 - Sperrstrom 101
 - Stabilisierung 112
 - Universal- 88, 97 f.
 - Tunnel- 88, 90
 - Vierschicht- 93
 - Zweischicht- 92
 - Zener- 88, 96, 98, 109
- Donatoren 86 f.
- Dotierungsschichten 88
- Drahtart 48
- Drahtdrehwiderstand 24
- Drahtwiderstände
 - 17 f., 20
 - glasierte 20
 - lackierte 20
 - ungeschützte 20
 - zementierte 20
- Drehkondensatoren 28, 33, 37
 - Trolitul- 37

- Drehspulinstrument 59
- Drehspulrelais 59
- Drehstrom-
 - Brückenschaltung 95
- Drehwiderstände 25
- Drehwinkel 19
- Dreiphasenwechselstrom 48
- Dreipolröhre 73
- Drosseln 42, 44, 48
- Drosselspulen 45
- Dünnschichttechnik 117
- Dunkelstrom 96
- Durchbruchkennlinie 90
- Durchgangswiderstand 57
- Durchlaßbereich 97, 104
 - Richtung 94, 100
 - Strom 91, 93 f.
 - Widerstand 94, 97
- Duroplastkondensatoren 34
- Edelgase 81, 84 f.
- Eigenerwärmung 53
- Eigenkapazität Spule 42
- Eingangskennlinie 104
- Eingangskreis
 - äußerer Widerstand 105
- Eingangsleistung 63
- Eingangsspannung 71 f., 102, 104, 109
 - nichtstabilisierte 109
- Eingangswiderstand 102, 104 f.
- Eingangswirkgrößen 60
- Einkristallstruktur 89
- Einphasenwechselstrom 48
- Einsatzgebiete 13
- Einschaltstrombegrenzung 53
- Eintakt-A-Endstufe 112
- Einzeldioden 93
- Eisenkern 47
- Eisenoxid
 - ferromagnetisch 43
- elektrische Ladung
 - Augenblickswert 27
- elektrische Überlastung 90
- Elektrizitätserzeugung 13
- Elektrode als
 - Basis 101
 - Emitter 101
 - Kollektor 101
- Elektrodenoberfläche 71
- Elektronen
 - Austritt 74
 - Defekt- 85 f.
 - Emission 69, 73
 - Leitung 67 f.
- Röhren 53, 68
- Strom 67 f., 85
- Valenz- 85 f.
- Wertigkeits- 85 f.
- Elektronik
 - Aufgaben 12
 - Begriffe 12
 - Teilgebiete 12
- Elektronische Bauelemente 109 ff., 116
 - Blinkschalter 110
 - Gegentakt-NF-Verstärker 111
 - Gleichspannungsregler 109
 - Lichtschranke 110
 - Meßgeräte 110
- Elektrolytkondensatoren 28, 31 ff., 36, 38
 - Aufbau 32
 - Bauformen 33
 - Kapazitätsbereich 32
 - Nennspannung 32
 - Prüfspannung 32
 - veränderbare 32
 - Wirkungsweise 32
- Elektromagnetfeld 63
- Emissionsstrom 74
- Emitter 101
 - Kreis 101
 - Schaltung 102, 105
 - Spannung 103
 - Strom 101
 - Zuleitung 101
- Energieanlagen 13 f.
 - Konstante 51 f.
 - Versorgung 13 f.
- Entkopplung 36
- Entladung
 - selbständige 67 f., 71
 - unselbständige 67 f., 70
- Entladungsstrecke 69
- Entstörwiderstände 54
- Erholungszeit 52
- Erzeugnisgebiete 14
 - Gruppen 13 f.
- Feldstärke
 - elektrische 67, 73
- Fernmeldetechnik 34, 61
- Ferritkern 44
- Ferromagnetische
 - Kerne 41
- Festkondensatoren
 - gekoppelte 31
 - Kunststoffolie- 34
 - Papier- 34
 - Typ 34
- Festwiderstände 18, 23, 54
- Filterschaltungen 37
- Filtertechnik 34 f.
- Flächentransistor 101
- Flattern 62
- Formfaktor 52
- Fotodiode 88, 96, 98 f., 110
- Fotoelement 38
- Fremdatome 89
- Fremdonisation 67
- Frequenzabhängigkeit 19 f.
 - Änderung 36
 - Bereich 34
 - Erhöhung 34
 - Umsetzung 95
 - Wandler 14
- Füllgase 81
- Funkenlöschung 51, 54
- Funkentstörung 54
- Gasentladung 68
- Gasentladungslampen 45
- Gasentladungsröhren 58, 67, 69 ff., 73 ff., 77, 79, 95
 - Anwendung 74
 - Arten 70
 - Aufbau 70
 - Bauformen 73
 - Betriebsverhalten 74
 - Einteilung 73
 - Grundlagen 67
 - Kennzeichnung 80
 - Steuerungsarten 79
 - Stromverlauf 77
 - Verwendungszweck 70
 - Wirkungsweise 70, 74
 - Zusammenwirken 80
- Gasentladungsstrecke 72
- Gasversorgung 13
- Gegentaktendstufe 112
- Gegentaktsschaltung 111 f.
- Ge-Kristall 85, 88
- Gemischtwiderstände 20
- Geräteindustrie 13 f.
- Germanium 84 f., 87 f., 99, 106
 - Kristalle 91, 96, 99
 - n-leitendes 86, 88
 - p-leitendes 86, 88
 - Sperrschicht 91
- Gesamtverlustleistung 94
- Gewaplast-Kondensatoren 34
- Gitter
 - Bindung 85
 - Gleichspannung 79
 - Verband 86
 - Wechselspannung 79
 - zusätzliche 73
- Glanzkohle 17
- Schicht 20
- Widerstände 20

Glaskolben
 evakuierte 53
 Gleichrichter 77, 80, 88,
 91 f., 95
 Brückenschaltung 95
 Dioden 80, 88, 91 f.,
 94
 Gasentladungs- 80
 Graetz-Schaltung 95
 Schaltungen 95
 Schaltzeichen 91
 Schichtaufbau 91
 Stromverlauf 77
 Vierschicht- 88
 Zweischicht- 88
 Zweiweg- 95
 Gleichrichterdiode 80,
 88, 91 f., 94 f.
 Abmessungen 95
 Einsatz 95
 Kenndaten 94
 ungesteuerte 92
 Vor- und Nach-
 teile 95
 Gleichrichterröhren 73,
 77, 81
 mit Glühkatode 81
 Gleichrichterwirkung
 an I-U-Kennlinie 92
 Gleichrichtung
 Zweiweg- 80
 Gleichspannungen
 höchstzulässige 17
 Stabilisierung 51
 Gleichspannungs-
 regler 109
 Gleichspannungsteiler 36
 Gleichstrom 48
 Relais 61 f.
 Verstärker 110
 Widerstand 42
 Glimmdiode 73
 Glimmgleichrichter 72
 Glimmentladung 67, 69,
 71, 73 ff.
 selbständige 71
 Glimmlampen 72 ff., 80
 Bereitschafts-
 anzeige 80
 Betriebsanzeige 80
 Glimmröhren 75
 Glühkatoden 73 f., 77 f.
 Röhren 77
 Schaltzeichen 78
 Goldkontakte 25
 Graetz-Schaltung 95
 Grenzfrequenz 102
 Grenzsicht 87 f.,
 92 f., 99
 Grenzspannung 17
 Grenzspannungswert 97

Grenzsperrspannung 94
 Großsignalverstärker 88
 Grundschaltelemente 15
 Grundschaltungen 102,
 105
 Grundstoffindustrie 13 f.
 Halbleiter
 Basis 17
 Bausteine 59, 65
 Kristall 98
 Materialien 52, 84, 89
 pillenförmige 51
 scheibenförmige 51
 stabförmige 51
 Steuerung 12
 Werkstoffe 84, 87
 Widerstand 51, 53, 55
 Halbleiterbauelemente
 12, 84, 99
 Einbau 90
 Einbauhinweise 90 f.
 Einteilung 87
 Grenzschicht 87
 Grundlagen 84
 Kennzeichnung 89 f.
 Sperrschicht 87
 Stromleitung 85
 Verwendung 90
 Halbleiterblock-
 technik 117 f.
 Halbleiterdioden 92 f.,
 96 f.
 Aufbau 96
 Anwendung 97
 Bauelemente 96
 Bauformen 97
 Begriffsbestim-
 mung 96
 Betriebsverhalten 97
 Eigenschaften 96
 Kenndaten 96
 Verwendung 96
 Wirkungsweise 97
 Halbleitergleichrichter
 90 f., 93 f.
 Bauformen 94
 Begriffsbestim-
 mung 91
 Dioden 92 ff.
 gesteuerte 93
 Kenndaten 91
 Verwendungs-
 zweck 94
 Halbleiterwiderstände
 51, 53 f.
 Anwendung 53
 Bauformen 53
 Begriffsbestim-
 mung 51
 Betriebsverhalten 53
 druckabhängige 53

Festwiderstände 53
 Herwid-D- 53
 Herwid-F- 53
 Herwid-S- 53
 Herwid-T- 53
 Kenndaten 51
 Kennzeichnung 54
 spannungs-
 abhängige 53
 temperatur-
 abhängige 53
 Halbwellen 80
 Hauptentladung 76
 Hauptkatode 75
 Heißleiter 51
 Heizfadenbruch 74
 Heizspannung 73, 95
 Heizstrom 73
 Heizung
 direkt, indirekt 73
 Helium 81
 Hellstrom 96
 Hexode 73
 Hilfselektrode 76
 Entladung 76
 Katoden 75
 Spannung 99
 Hochfrequenz- (HF-)
 Energie 44
 Drossel 45
 Gleichrichter 97
 Kopplung 32
 Leistungsmessung 54
 Überbrückung 32
 Schwingungen 44
 Spannungssta-
 bilisierung 51, 53 f.
 Spannungs-
 verstärker 102
 Spulen 42 ff.
 Transistoren 88, 90,
 106
 Verstärker 102
 Hochpässe 44
 h-Parameter 102 ff.
 Impedanzwandler 102
 Impulspause 110
 Impulsspannung
 Scheitelwert 17
 Indiumperlen 88
 Indium-Störstelle 86
 Induktivität 41 f., 44
 Induktionsspannung 67
 Induktive Kopplung 42
 Induktiver Widerstand 42
 Informationsnutzung 12
 Informationstechnik 12
 Informationsver-
 arbeitung 12
 Innenwiderstand 109 f.
 Ionenleitung 67

Ionenstrom 67
 Isolationswiderstand
 34 ff., 58
 Isolierstoff-Plättchen 117
 Joch (Klappanker) 48
 Kaltkathoden 73 ff., 80 f.
 Anzeigeröhren 80
 Relaisröhren 76
 Röhren 74, 81
 Zählröhren 80
 Kaltwiderstand 52 f.
 Kapazität 27
 Änderung 32
 Angaben 38
 Diode 98
 Minderung 34
 Nennwert 28
 Kapazitätskonstanz 35
 Katoden
 Emission 67
 Heizung 81
 Strom 73, 81
 Kennlinienfeld 107
 Spannungs-Rück-
 wirkungs- 104
 Kernbleche
 E-I-Schnitt 45
 Formen 45
 M-Schnitt 45
 U-I-Schnitt 45
 Ringkern 45
 Kerngröße
 erforderliche 45
 Keramikkonden-
 satoren 29, 31
 Plättchen 117
 Platten 31
 Rohr 31
 Scheiben 31
 Kernspulen 42 f.
 Klippschwingungen 70
 Kirchhoff-Gesetz 101
 Klangfarbenregler 19
 Klappanker (Joch) 48
 Kleinkondensatoren
 31, 35, 38
 keramische 35
 Klimabeständigkeit 36
 Klimaprüfklasse 28,
 37 f., 59
 Klirrfaktor 112
 Kohlenstoffmodi-
 fikation 20
 Kollektor-Emitter-
 Spannung 103
 Kollektorkreis 101
 Schaltung 102, 105
 Spannung 101
 Strom 101, 103, 107
 109 ff.
 Kolloidkohle 17

Kombinationsschal-
 tungen 62
 Kompensation
 Temperatur-Span-
 nungs- 111
 Kompensationswider-
 stand 54
 Kondensatoren 76, 110 f.
 Abstimm- 37
 Al-Elektrolyt- 36 f.
 Anwendung 34
 Aufbau 27
 Beläge 32
 Betriebsverhalten 34
 Dewaplast- 34
 Dreh- 28, 37
 Durchführungs- 36
 Duroplast- 34
 Elektrolyt- 28, 36 ff.
 Einteilung 28
 einstellbare 28
 Fest- 28 f.
 Gleichstromkreis 27
 Hochvolt-
 Elektrolyt- 32
 Kapazität 41
 Kennzeichnungen 37
 Keramik- 29, 31, 35
 Klein- 31, 35, 38
 Kunststoffolie- 29 f.
 Lack- 29, 35
 Lade- 36
 Metall-Papier-
 (MP-) 29
 Niedervolt-
 Elektrolyt- 32
 Papier- 28 ff., 37 f.
 Schaltzeichen 27
 Sieb- 36
 selbstheilende 35
 Spezialausfüh-
 rung 36
 Tantal-
 Elektrolyt- 32, 37
 Trimmer- 28
 Trolitul-Dreh- 37
 Überbrückungs- 36
 ungepolte 28
 veränderbare 28,
 37, 44
 verstellbare 28
 verlustbehaftete 28
 Wechselstrom-
 kreis 28
 Wirkungsweise 27
 Kondensatorwickel 29
 Konstantendraht 20
 Kontaktbau-
 elemente 57 ff.
 Schalter 57
 Steckverbin-
 dungen 58
 Relais 59

Kontakte
 Abbrand 58
 Anzahl 61
 Material 52
 Schaltzustand 62
 Kontaktwiderstand 58
 Kontaktstreifen
 p-leitende 89
 Kontaktträger
 ferromagnetischer 63
 Kopplung
 induktive 42, 44 f.
 Kopplungskonden-
 satoren 36
 Kraftmagnete 47
 Kraftmagnetspulen 42
 Kreisfrequenz 42
 Kriechstrecken 58
 Kristallgefüge 51
 Gitter 85 f.
 Gitterbildung 85
 Struktur 84 f.
 Verband 86
 Krypton 81
 Kunstharzlack 20
 Kunststoffolie 31
 Kondensa-
 toren 29 f., 34
 Kupfer-I-Oxid 87
 Kupfer-Lackdraht 48
 Kupferoxydul 87
 Kurzschlußwick-
 lungen 64
 Lackkondensatoren
 29 ff., 35
 Lackschicht 45
 Ladestromstoß 80
 Ladungsträger 68 f., 72 f.,
 84 f., 87, 100
 Bildung 77
 elektrische 27
 Langzeitrelais 59
 Lastwiderstand 105, 110
 Laterale Zonenfolge 99
 Lautstärkenregler 19
 Leistungselektronik 13
 Messung 53
 Schaltröhren 73
 Schalttransistoren
 88, 106
 Transistoren 90, 106
 Verstärker NF 111
 Verstärkung 63,
 101 f., 105
 Leitfähigkeit 84
 Lichtbogen 67 f.
 Lampen 45
 Lichtemission 69
 Lichtschranke 110
 L-Kondensatoren 29 f.
 Löschen 72, 76, 94
 Löschstrom 85, 100

- Lötanschlüsse 45, 57
 Logikschaltungen 14
 Luftspulen 42 f.
 kernlose 43
 Luftstrecken 58
 Lufttrimmer 37
 Magnetfeld 41, 63
 Kern 41
 Kraft 41, 61 f.
 Kupplungen 48
 Spannplatten 48
 Spulen 48, 61
 Ventile 48
 Massekern 44
 Massewiderstände 17, 54
 Mehrpolröhre 73
 Mengenkonzente 51
 Mesa-Dioden 89
 Technik 89, 100
 Transistoren 89
 Meßbereichsdehnung 54
 Meßfühler 53
 Meßtechnik 13
 Metallelektroden 70
 Folie 29, 37
 Papier-Wickel 30
 Pulver 17
 Mikroelektronik 116 f.
 Mikromodulteknik 117
 Mikroschalter 60
 Miniaturbausteine 117
 Miniaturelektronik 116
 Mischgasfüllung 81
 Mischstufen 106
 Mittelanzapfung 80
 Modulation 96, 106
 Modulatoren 14
 Molekularelektronik 118
 Motorschutz 64
 MP-Kondensatoren
 29 ff., 35
 Multivibrator 110 f.
 Schaltung 110
 Natron-Zellulose-
 bänder 29 f.
 Nenndurchlaßspan-
 nung 90
 Strom 90, 94
 Nenngleichspan-
 nung 28, 38
 Nennkapazität 37 f.
 Kapazitätswert 28
 Leistung 57
 Spannung 37 f., 48,
 52, 57 f., 61, 90
 Strom 52, 55, 57 f.,
 61, 94
 Verlustleistung 16 f.
 Wechselspannung 28
 Neon 81
 Netzgleichrichter 46
 Spannungsschwan-
 kungen 109
 Transformatoren 46
 Nichtleiter 84
 Nichtlinearitäts-Koef-
 fizient 52
 Niederfrequenz- (NF-)
 Drossel 45
 Gleichrichter 97
 Kopplung 32
 Leistungsver-
 stärker 111
 npn-Transistor 99
 Nulldurchgang 62 f.
 Spulen 42, 45 f.
 Transformatoren 44
 Transistoren 88, 90,
 106
 Überbrückung 32
 Verstärker 102
 ODER-Verknüpfung 96
 Öffner 60
 Ohmsche Widerstände
 15, 20, 22, 24
 Anwendung 20
 Begriffsbestim-
 mung 15
 Betriebsverhalten 20
 Eigenschaften 15
 Einteilung 17
 Festwiderstände 22
 Kenndaten 15
 Kennzeichnung 22
 Metalldrahtwick-
 lung 15
 Resistor 15
 Schaltzeichen 15
 spezifische 15
 Symbole 15
 veränderbare 24
 Verwendungs-
 zweck 15
 Werkstoffe 15
 O-L-Ausgangsgröße 59
 Oszillatoren 14, 102, 106
 Oxidkatode 78
 Oxidschicht 45
 Papierkondensatoren
 28 ff., 34, 38
 Parameter 105
 Pentode 73
 Permanentmagnete
 59, 63
 Permeabilität 41
 Phasenlage 79
 Verschiebung 63
 Winkel 79
 Planar-Dioden 89
 Technik 89
 Transistoren 89
 Plasmabildung 67 ff.
 Bogenschweißen 69
 Zustand 67
 p-Leitung 86
 pnp-Gebiete 89
 pnp-Transistor 99
 pn-Sperrschicht 96
 pn-Übergang 87
 Polarität 61, 63, 92
 Polaritätswechsel 36
 Polystyrolfolien-
 bänder 29 f.
 Potentialschwelle 87
 Potentiometer 18, 103, 109
 Primärspulen 47
 Wicklungen 46
 Protonen 84
 Produktionsvor-
 bereitung 116
 Prüfspannung 28, 58, 61
 Prozeßwertregelung 14
 Steuerung 14
 Quecksilber-Dampf 81
 Gleichrichter 69
 Hochdrucklampen 69
 Querstrom 81
 Regelfaktor 52
 Regelungen
 numerische 99
 Regelungstechnik 13,
 34, 110
 Reihenschaltung 93
 Rekombination 85
 Relais 42, 48, 59 ff.,
 63 f., 70, 73, 76
 Anwendung 61
 Ausgangsseite 61
 Bauformen 61
 Begriffsbestim-
 mung 59
 Betriebsverhalten 61
 Drehpul- 59
 EDVA 59
 Eingangsseite 61
 elektronische 60
 Fernmeldetechnik 59
 Flach- 61
 gepolte 63
 Gleichstrom 61 f.
 Hauptkennwerte 61
 Kenndaten 19, 61
 Langzeit- 59
 Meßtechnik 59
 polarisierte 19, 63
 Regelungen 59
 Rund- 61
 Starkstrom-
 technik 59
 Steuerungen 59
 Thermo- 60, 64

- Wechselstrom-
 - Hilfs- 62
 - Wirkungsweise 61
 - Zeit- 70, 76
 - Zweiphasen- 62
 - Zwischen- 61
- Relaisröhren 70, 73, 76
- Kaltkatoden 70, 76
- Kennlinienfeld 76
- Schaltzeichen 76
- Restspannung 89
- Restsperrstrom 98
- Reststrom 36, 101 f., 107
- Restwelligkeit 45
- Ringkern 45
- Röhrendioden 95
 - Querstrom 76
 - Spannung 70 f.
- Rolltreppe-
 - steuerung 110
- Rückkopplung 106, 111
- Rückkopplungs-
 - schaltungen 106
- Ruhekontakte 60
- Ruhestromkreis 60
- Schaltdiode 97 f.
- Schaltdiodenbausteine 98
- Schalter
 - elektronische 58
 - Kenndaten 57
 - Kontakte 57
 - kontaktlose 58, 107
 - Schaltzeichen 57 f.
 - Tast- 58
- Schalten
 - kontaktloses 99
- Schaltfrequenz 63
- Schaltfunken 67
 - Geschwindigkeit 58
 - Glieder 58
 - Häufigkeit 57
 - Kontakte 57, 61
 - Kreise 11,
 - Röhre 81
 - Spannung 58, 94
 - Transistoren 88,
 - 90, 106
 - Vermögen 57, 61
 - Verstärker 70
 - Verzögerung 96
 - Zeichen 51, 61
- Schaltungen
 - elektronische 100
 - gedruckte 34, 37, 62
- Scharfabstimmung
 - automatische 98
- Scheibentrimmer 33, 36 f.
- keramischer 37
- Schichtdrehwider-
 - stände 19, 24
- Schichtwiderstände
 - 17 f., 22
- Schichtstoffe 21 f.
- Schließer 60
- Schraubanschlüsse 45, 57
- Schütze 42, 48, 59
- Schutzgrad 59
- Schutzschalter 64
- Schwachstrom-
 - elektronik 12 f.
- Schwachstromtechnik 12
- Schwellspannung 110
- Schwellwert 60
- Schwingkreise 35, 44
- Schwingungen
 - akustische 45
- Schwingungserzeu-
 - gung 99, 106
- Sekundärspannungen 47
 - Spule 47
 - Wicklungen 46 f.
- Selen 87
- Signalglühlampe 70
 - Lampen 70
 - Röhren 72
 - Verarbeitung 60
 - Verstärker 88
- Siebdrukverfahren 117
- Siebketten 80
- Siebschaltungen 44
- Silizium 84 f., 87, 106
 - Bauelemente 89
 - Karbidpulver 52
 - Kristalle 91, 96, 99
 - Oxidschicht 89
 - Sperrschicht 91
- Sinterkohlenstoff 17
 - Verfahren 43
 - Werkstoffe 38
- Sinusspannung 75
- Sonnenbatterien 99
- Spannung 15 f., 27, 41, 52
- Spannungsabfall 16, 55,
- 71, 109 ff.
 - Änderung 19, 101
 - Begrenzung 96 f.
 - Durchschlag 35
 - Erhöhung 72
 - Halbwelle 79
 - Höchstwerte 102
 - Quelle 35
 - Regelung 109
 - Rückwirkung 104
 - Spitzen 46
 - Stabilisierung 54,
 - 72 f., 80, 96 f.
 - Stabilisatorröhren 73
 - Teiler 19
 - Überschläge 67
 - Umpolung 92
 - Verstärkung 101 f.,
 - 105
- Wandler 46
- Wert 54
- Spartransformatoren 47
- Speichervermögen 27
 - Wirkung 41
 - Zeit 102
- Sperrbereich 97
 - Richtung 92, 98, 100
 - Schichten 87 f., 91 f.,
 - 96 f., 99 f.
- Schichtkapazität 96
 - Spannung 98
 - Strom 92 ff.
 - Widerstand 98
 - Wirkung 92
- Sperrschicht
 - Eigenschaften 87
 - Kapazität 96
 - Temperatur 87, 94
 - Ventilwirkung 97
- Spezialeisenblech 45
- Spezialverstärker 14, 20
- Spitzdioden 88, 98
- Spitzendurchlaßstrom 94
 - Nennspannung 94
 - Spannung 28, 32
 - Sperrspannung 94
 - Transistoren 88, 101
- Spulen
 - Aufbau 41
 - Drossel- 45
 - Eigenkapazität 42
 - Einteilung 42
 - gekoppelte 42
 - Güte 42, 44
 - Hauptkenngrößen 42
 - Hochfrequenz- 42 f.
 - im NF-Bereich 45
 - Kennzeichnung 48
 - Kern- 42 f.
 - Kerne 43
 - Körper 42
 - Kraftmagnet 42, 47
 - Luft- 42 f.
 - Magnetfeld 63
 - Niederfrequenz- 42,
 - 45 f.
 - Strom 47
 - Symbole 41
 - Windungszahlen 42
 - Wirkungsweise 41
- Spulenkörper 42
 - Hartpapier 45
 - Plast 45
- Spulenstrom 47
 - zulässiger 42
- Spulenwindungs-
 - zahlen 42
 - Übersetzung 46
- Stabilisationsröhre 70
- Stabilisatorröhren
 - 75, 81

Starkstromelektro-
 nik 12 f.
 Starkstromtechnik 12
 Starterelektroden 76
 Steckanschlüsse 45, 57
 Steckverbindungen 57 ff.
 Hochfrequenz 59
 koaxiale 59
 Niederfrequenz 59
 Schaltzeichen 59
 symmetrische 59
 Stellglieder 48
 Stelltransformatoren 47
 Stern-Dreieck-Schal-
 tung 64
 Steuerelektrode 72, 93
 Gitter 78
 Gleichspannung 97
 Impulse 93
 Pulte 70
 Steuerung 12, 94
 elektronische 107
 numerische 65, 75,
 80, 99
 Steuerungsschal-
 tungen 61 f.
 Steuerungstechnik
 13, 110
 Störstellenleitung 86
 Stoßanker 45, 48
 E-I-Schnitt 45
 M-Schnitt 45, 48
 U-I-Schnitt 45
 Stoßionisation 67 ff.,
 71 ff., 78
 Strahleneinwirkung 76
 Stromänderung 46, 101
 Dichte 72
 Differenz 41
 Einsatzpunkt 72, 79
 Erhöhung 72
 Höchstwerte 102
 Impuls 94
 Kreisschaltung 57
 Leitung (Gase/
 Vakuum) 67
 Stärke 15 f., 41,
 52, 71 f.
 Übertragungs-
 kennlinie 103
 Unterbrechung 46
 Versorgungsgerät 80
 Verstärkung 101 f.,
 104 f.
 Wandler 46
 Strom-Spannungs-
 Kennlinien 52, 70 f.
 93, 97 f.
 Stufenschalter 47
 Symbole für Wider-
 stände 18

Tafelberge (mesa) 89

Tantal-Elektrolyt-
 Kondensatoren 32, 37
 Tastschalter 58
 Temperaturabhängig-
 keit 51
 Änderung 54
 Koeffizient 54 f.
 Kompensation 36
 Messung 54
 Thermistoren 51 ff., 112
 Thermorelais 60, 64
 Thyatron 73, 78 f.,
 81, 93
 Horizontal-
 steuerung 79
 Impulssteuerung 79
 Kennlinienfeld 78
 mit Glühkatode 81
 Röhren 73
 Schaltzeichen 78
 steuerbar 81
 Vertikalsteuerung 79
 Thyristoren 14, 99, 90 f.,
 93, 95
 gesperrt 93
 gesteuert 93
 gezündet 93
 Schaltung 93
 Schaltzeichen 91
 Spannungskenn-
 linie 93
 Stromkennlinie 93
 Tiefpässe 44
 Tonfrequenztechnik 46
 Topfmagnete 48
 Transformatoren 42,
 46 ff., 80
 Spar- 47
 Stell- 47
 Trenn- 47
 Transistoren 88 f., 99,
 101 ff., 105 f., 110 f.
 als Schalter 106
 Ausgangskenn-
 linienfeld 103
 Ausgangsleit-
 wert 105
 Ausgangswider-
 stand 105
 Begriffsbestim-
 mung 99
 Berechnung 102
 Diffusions- 88
 Eingangswider-
 stand 105
 Einsatzgebiete 106
 Epitaxial- 89
 Flächen- 101
 Germanium- 106
 gezogene 89
 große Leistungen 106
 Grundschal-
 tungen 105

h-Parameter 105
 Hochfrequenz- 88,
 90, 106
 Kenndaten 99, 102
 Kennwertermitt-
 lung 103
 Komplementär- 110
 laterale Zonen-
 folge 99
 Legierungs- 88
 Leistungs- 90,
 100, 106
 Leistungsschalt- 106
 Leistungsverstär-
 kung 105
 Mesa- 89, 100
 Mini-Plast- 106
 Mini-Plast-Si- 100
 Mischstufen 106
 mittlere Leistun-
 gen 106
 Niederfrequenz- 88,
 90, 99, 106
 npn- 99
 Oszillatoren 106
 Planar- 89
 pnp- 99 f.
 Schalt- 88, 90, 99,
 106
 Schaltung 103
 Schaltungsarten 102
 Schaltzeichen 99
 Silizium- 106
 Sperrschichten 99
 Spitzen- 88, 101
 Steuerwirkung 101
 Stromverstärkung
 101, 105
 Transversale Zonen-
 folge 100
 Verstärker 105 f.
 Verstärkungseigen-
 schaften 106
 Verwendung 99
 Vierpol- 105
 Widerstand 109
 Transistorkennlinie
 Eingangs- 104
 Parameter-
 beziehungen 104
 Spannungs-Rück-
 wirkungs- 104
 Vierquadranten- 104
 Trenntransformatoren
 47
 Trimmerkonden-
 satoren 28
 Triode 73
 Trolitul-Dreh-
 kondensator 37
 Tunnelodiode 90

- Überblendungs-
schaltungen 19
- Überlastbarkeit 58
- Überlastung
 - elektrische 90 f.
 - mechanische 91
 - thermische 90
- Überspannung
 - Ableiterscheiben 54
- Überspannungs-
festigkeit 36
- UKW-Schichtwider-
stände 20
- Umpolung 78
- Umschaltkontakte 60 f.
- Umrichter 78
- Umspanner 46
- Umwandlung
 - p-Leitung 88
- UND-Verknüpfung 96
- Universaldioden 88,
97 f.
 - Hochfrequenz- 88
 - Niederfrequenz- 88
 - Quartett 98
- Urandioxid 51
- Varistoren 51 f., 55
- Verarbeitungstechnik 12
- Vergleichsspannungen 97
 - unabhängige 109
- Verknüpfungsbausteine
97
 - Schaltungen 59
- Vakuum-Elektronen-
röhren 68
 - Meßwiderstände 53
 - Röhren 72, 74, 77,
95, 116
- Verlustfaktor 34 ff.
Anstieg 34
- Verlustleistung 17, 91,
97, 118
 - höchstzulässige 17
 - Reduzierung 118
- Verstärker 68, 88, 106
 - Großsignal- 88
 - Kleinsignal- 88
 - Röhren 68
- Verzögerungszeit 76
- Vierpolparameter 102,
104
- Vierquadranten-
Kennlinienfeld 104
- Vierschichtdioden 93
 - Gleichrichter 88
- Vierpoltransistor 105
- Volumenwiderstand 17
- Vorionisierung 76
- Vorwiderstand 69 ff., 77,
97
- Wärmeableitung 53
- Wandler
 - fotoelektrische 98
- Wasserstoff 81
- Wechselmagnet-
felder 63
- Wechselspannung 17, 42,
100
 - Scheitelwert 17
 - Verstärker 100
- Wechselstrom 28, 44, 48,
62
 - Relais 62
 - Widerstand 28, 44,
48
 - Zweiphasenrelais 62
- Weicheisenkerne 47
- Wellenwiderstand 59
- Werkstoffe 17
- Widerstände 21 ff., 51,
54 f., 112
 - Borkohle- 20
 - Dämpfungs- 54
 - Draht- 20
 - Drahtdreh- 24
 - Entstör- 54
 - Farbkode 22
 - Fest- 54
 - Gemischt- 20
 - Glanzkohle- 20
 - Halbleiter 55
 - Höchstohm- 21 f.
 - Kennfarben 21 f.
 - Masse- 54
 - Metallschicht- 20
 - Schichtdreh- 24
 - spannungsabhän-
gige 51, 54
 - Symbole 18
 - temperaturabhän-
gige 51, 112
 - UKW-Schicht- 20
 - ungewendelte
 - Spezial- 20
 - VDR- 51
 - veränderbare 18, 24
 - Zünd- 54
- Widerstand 15 f., 42, 48,
54, 58 f., 105
 - äußerer 105
 - Blind- 42
 - induktiver 42
 - Isolations- 58
 - Kompensations- 54
 - Wellen- 59
- Widerstandsänderung
51, 53 f.
- Brückenschal-
arten 16, 20
 - tung 53
- Erhöhung 51
- Kurven 19
- Thermometer 53
- Verhältnisse 101
- Verlauf 18 f.
- Werkstoffe 17
- Wert 16 f., 22, 54,
102
- Windungszahlen 42, 44,
47
- Wirkleistung
 - elektrische 28
- Wirkungsgrößen
 - Abfallwerte 61
 - Anzugswerte 61
 - Haltewerte 61
 - Nennwerte 61
 - Spannung 61
 - Strom 61
- Xenon 81
- Zählgeräte
 - elektronische 98
- Zählröhre 70, 72 ff., 80 f.
 - Kaltkathoden- 80
 - Schaltungen 110
- Zeitdifferenz 41
 - Konstante 34, 53, 111
 - Konstanz; hohe 21
 - Plansteuerung 65
 - Relais 36, 64, 70, 76
 - Verzögerung 64
- Zeitrelais
 - Abfallverzöge-
rung 64
 - Anzugsverzöge-
rung 64
 - elektronisches 64
 - Schaltbild 64
 - Schaltungen 36
- Zener-Diode 97, 109
- Ziffernanzeigeröhren 75
- Zünddioden 73
 - Einsatzpunkt 78
 - Impulse 78
 - Spannung 70 f., 73 f.,
76 f., 79
 - Spulen 46
 - Widerstände 54
- Zündung 94
- Zugmagnete 42, 48
- Zusatzheizung 54
- Zweiphasenrelais 62 f.
- Zweipolröhre 72
- Zweischichtdiode 92
 - Gleichrichter 88
- Zweiwegschaltung 95

LITERATUR FÜR DAS GRUNDLAGENFACH

Semrad / Otto **Grundlagen der BMSR-Technik**

Wissensspeicher für die Berufsbildung

ES: 20 C 5; LAG: M 5.5.; Format 16,5 cm × 23,0 cm;

128 Seiten 4farbig; 117 Abbildungen;

Broschur, etwa 4,25 M;

Bestellnummer 551 620 3; Bestellwort: Semrad, BMSR-Technik

Aus dem Inhalt:

1. Automatisierung als Grundrichtung der wissenschaftlich-technischen Revolution in der DDR
2. Grundbegriffe der Kybernetik
3. Information und Signal
4. Grundlagen der Betriebsmeßtechnik
5. Grundbegriffe des Steuerns und Regels technischer Systeme
6. Wandler
7. Regler
8. Stalleinrichtungen
9. Das System „ursamat“

Zur Gestaltung:

Leitbegriffe auf einem breiten Rand erleichtern das Auffinden der Einzelheiten. Leerseiten im Anschluß an jeden Hauptabschnitt können Ergänzungen speichern. Vierfarbige Abbildungen und zahlreiche Tafeln sichern Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit.

Leserkreis:

Das Buch ist für alle Lehrlinge mit Abschluß der 10. Klasse verbindlich.



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN
